Doc. SICS_210_Integraz

Progetto messa in produzione pozzo
Agosta 1 Dir

INTEGRAZIONI ALLO STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Allegato 11.

Relazione tecnica Geologia, Geotecnica e Sismica

Luglio 2016

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Progetto messa in produzione pozzo Agosta 1 Dir

INTEGRAZIONI ALLO STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Allegato 11.

Relazione tecnica Geologia, Geotecnica e Sismica

	amec foster wheeler	A. Cuzzola G. Donaera	P. Pucillo	G. Liberto
		Elaborato	**Verificato**	**Approvato**

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

1 PREMESSA 9

1.1 STRUTTURA DEL DOCUMENTO 9

2 UBICAZIONE E DEFINIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO 10

2.1 STATO ATTUALE DELL'AREA POZZO 11

3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA 13

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE REGIONALE 13

3.1.1 Evoluzione del bacino padano 14

3.1.2 Inquadramento litostratigrafico 16

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE 19

3.2.1 Evoluzione dell'apparato deltizio del fiume Po 20

3.3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DELL'AREA DI INTERVENTO . 22

3.3.1 Ricostruzione stratigrafia di dettaglio 23

3.3.2 Caratteristiche pedologiche dell'area di intervento 26

3.3.3 Uso del suolo 29

4 CARATTERIZZAZIONE IDROGRAFICA E IDROGEOLOGICA 31

4.1 IDROGRAFIA 31

4.2 IDROGEOLOGIA REGIONALE 33

4.2.1 Andamento piezometrico provinciale 39

4.2.2 Salinità delle acque 41

4.3 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA A SCALA DI INTERVENTO 43

4.3.1 Idrografia 43

4.3.2 Idrogeologia e andamento piezometrica sito specifico 45

5 AZIONE SISMICA (MODELLO SISMICO DEL SITO) 47

5.1 CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE 48

5.2 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA 50

5.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO 53

5.4 AMPLIFICAZIONE SISMICA 56

5.5 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE 59

6 ANALISI GEOTECNICA SITO SPECIFICA 61

6.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CONTINUE CPT 62

6.1.1 Elaborazione dei risultati e valutazioni 62

6.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI SUOLI 63

7 SICUREZZA E PRESTAZIONI DELLE OPERE DI FONDAZIONE 66

7.1 CARICO LIMITE DI FONDAZIONE SU TERRENI 67

8 MODELLO CONCETTUALE/CONCLUSIONI 75

9 FONTI 77

9.1 SITI INTERNET CONSULTATI 78

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Elenco delle Tabelle

Tabella 4-1 - Valori di soggiacenza della falda freatica (Luglio 2006) 46
Tabella 5-1 Caratteristiche delle zone sismiche (Fonte: Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003)..... 47
Tabella 5-2 Categorie di sottosuolo secondo D.M. 14/01/2008 51
Tabella 5-3 Determinazione dell'amplificazione stratigrafica S_S..... 52
Tabella 5-4 Determinazione dell'amplificazione topografica S_T 52
Tabella 5-5 Vita Nominale in funzione dei tipi di costruzione..... 52
Tabella 5-6 Coefficiente d'uso (NTC 08, Paragrafo 2.4.2)..... 52
Tabella 5-7 Parametri sismici calcolati 53
Tabella 5-8 - Coefficienti sismici di stabilità di pendii e fondazioni..... 54
Tabella 5-9 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali 55
Tabella 5-10 Spettro di progetto..... 55
Tabella 5-11 Spettro di progetto..... 55
Tabella 5-12 Spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali 58
Tabella 5-13 Spettro di risposta elastico delle componenti verticali..... 58
Tabella 6-1 Caratteristiche tecniche della strumentazione CPT 62
Tabella 6-2 Risultati ottenuti a seguito della realizzazione delle prove CPT 63
Tabella 6-3 Caratteristiche geotecniche dell'Unità A 64
Tabella 6-4 Caratteristiche geotecniche dell'Unità B 64
Tabella 6-5 Caratteristiche geotecniche dell'Unità C 65
Tabella 6-6 Caratteristiche geotecniche dell'Unità D 65

Elenco delle Figure

Figura 2-1 Ubicazione dell'area di intervento 10
Figura 2-2 Planimetria di dettaglio dell'area pozzo Agosta 1 dir 12
Figura 3-1 Sezione geologica SO-NE attraverso la Pianura Padana (R. Fantoni, R. Franciosi, 2008) 13
Figura 3-2 Sezione geologica SO-NE lungo le Pieghe Ferraresi (A. Castellarin, G.B. Vai, 1986) 14
Figura 3-3 Schema stratigrafico dei depositi plio-quaternari. Tratta da RER-ENI/AGIP, 1998; rivista nelle Note Illustrative del Foglio 204 Portomaggiore (Carta Geologica d'Italia Progetto CARG, 1:50.000, 2005) 16
Figura 3-4 Estratto tratto dalla Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50000 – Foglio 205 Comacchio (Progetto CARG) 18
Figura 3-5 Andamento Altimetrico all'interno del Bacino Burana Volano (estratto tratto dal Piano di Tutela delle Acque della Provincia di Ferrara, 2010) 19
Figura 3-6 Ubicazione delle Valli di Comacchio (fonte dati Regione Emilia Romagna - rielaborazione Amec Foster Wheeler)..... 20
Figura 3-7 Evoluzione dell'apparato deltizio del fiume Po (Bondesan, 1990) 21
Figura 3-8 Carta geomorfologica Area di Dettaglio pozzo Agosta 1 dir (estratto tratto dalla Carta Geomorfologica delle Regione Emilia Romagna) 22
Figura 3-9 Estratto della sezione geologica redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna..... 24

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Figura 3-10 Stratigrafia pozzo Agosta 1 dir (fonte: Doc. SICS 210 - Studio di Impatto Ambientale Progetto messa in produzione pozzo Agosta 1 dir) 25
Figura 3-11 Carta Litostatigrafica (Regione Emilia Romagna) dell'area di intervento, pozzo Agosta 1 dir con ubicazione delle prove CPT (2002) e dei sondaggi geognostici (2006) 26
Figura 3-12 Estratto tratto dalla Carta Pedologica della Regione Emilia Romagna (Dettaglio pozzo Agosta 1 dir) 28
Figura 3-13 Estratto tratto dalla Carta dei Suoli della Regione Emilia Romagna (Dettaglio pozzo Agosta 1 dir) 30
Figura 4-1 Delimitazione del Bacino Idrografico di Burana – Volano, (in giallo la parte inerente il Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara) 31
Figura 4-2 Delimitazione del Bacino Idrografico di Burana – Volano, (in giallo la parte inerente al Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara) 33
Figura 4-3 Schema della distribuzione dei corpi sedimentari nel sottosuolo (Fonte: Regione Emilia Romagna) 34
Figura 4-4 Schema stratigrafico dei depositi alluvionali e marini presenti nella Pianura Emiliana 36
Figura 4-5 Depositi poroso permeabili del Gruppo acquifero "A" (Fonte: Regione Emilia Romagna – Assessorato all'Ambiente, ripreso dal documento "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna", pubblicato dalla Regione Emilia-Romagna in collaborazione ad ENIAGIP nel 1998) 37
Figura 4-6. Gruppo acquifero A, profondità del limite basale e spessore (RER, eni & Agip, 1998) 38
Figura 4-7. Gruppo Acquifero B, profondità del limite basale e spessore. (RER, eni &Agip, 1998) 39
Figura 4-8. Andamento plano-altimetrico della base dell'acquifero freatico, valori espressi in metri sotto il livello del mare (Valpreda E., Valmigli L., ENEA, 1992) 40
Figura 4-9 Andamento superficiale freatica (PRG del Comune di Comacchio, 1997) 41
Figura 4-10. Sintesi regionale del monitoraggio intrapreso tra il 2009 e il 2010 basato sulla presenza e sullo spessore di acqua dolce al di sopra della zona di transizione acqua dolce-salata 42
Figura 4-11. Area prossima alle infrastrutture di progetto; con linea rossa tratto punto è indicato il tracciato del gasdotto di collegamento con il nodo di consegna SRG, mentre con linea rossa a tratteggio l'esistente gasdotto SRG (base: CTR Regione Emilia-Romagna, scala 1:5.000) 45
Figura 5-1 Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna.... 48
Figura 5-2 Carta pericolosità sismica, da progetto DPC-INGB – S1 49
Figura 5-3 Amplificazione sismica e valori di Vs30 (tratto dal PSC del Comune di Comacchio, 2014) 50
Figura 5-4 - Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali 55
Figura 5-5 Carta del rischio di liquefazione per il Comune di Comacchio, Piano Strutturale Comunale 2014 60
Figura 6-1 Carta geotecnica per il Comune di Comacchio, Piano Strutturale Comunale 2014 61

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Figura 7-1 Schema di Prandtl per il calcolo della capacità portante..... 68
Figura 7-2 Rielaborazione grafica dei valori ottenuti a seguito dei calcoli eseguiti. 74

Elenco Tavole

Tavola 1. Inquadramento generale
Tavola 2. a - Carta Geologica Regione Emilia Romagna;
Tavola 2. b - Carta Geologica Regione Emilia Romagna - Area di Intervento;
Tavola 3. a - Carta Litologica Regione Emilia Romagna;
Tavola 3. b - Carta Litologica Regione Emilia Romagna - Area di Intervento;
Tavola 4. a - Carta Geomorfologica Regione Emilia Romagna;
Tavola 4. b - Carta Geomorfologica Regione Emilia Romagna - Area di Intervento;
Tavola 5. Uso del Suolo, Regione Emilia Romagna – Area di Intervento;
Tavola 6. a – Carta Idrogeologica Regione Emilia Romagna;
Tavola 6. b - Carta Idrogeologica Regione Emilia Romagna - Area di Intervento;
Tavola 7. Carta della Salinità dei Suoli, Regione Emilia Romagna – Area di Intervento;
Tavola 8. Carta della microzonazione sismica, Provincia di Ferrara – Area di Intervento

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

ACRONIMI

Ag	Accelerazione orizzontale
ASTM	American Society for Testing and Materials International
c.m.	Cemento armato
c.s.	Calcestruzzo
D.M	Decreto Ministeriale
ENEA	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
IGM	Istituto Geografico Militare
ISPRA	Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale
MATTM	Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mar
NTC	Norme Tecniche Costruttive
OPC	Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri
p.c.	Piano campagna
PTC	Piano Territoriale di Coordinamento
s.l.m.	Sul livello del mare
SIT	Sistema Informatico Territoriale
SRG	Snam Rete Gas
SSU	Satellite Survey Unit
TNT	Tessuto Non Tessuto
WGS	World Geodetic System

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

1 PREMESSA

In riferimento allo studio di impatto ambientale relativo alla "Messa in produzione del pozzo Agosta 1 dir", depositato da eni S.p.A. Distretto Centro Settentrionale il giorno 6/07/2015, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per le Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali (di seguito "MATTM"), a seguito dell'esame del progetto "Messa in produzione del pozzo Agosta 1 dir", dei contenuti espressi dai soggetti partecipanti all'istruttoria e delle osservazioni pervenute, con lettera di cui al prot. DVA-0001682/CTVA del 06/05/2016, ha richiesto alla società proponente di predisporre una serie di integrazioni al progetto a suo tempo presentato.

In particolare al punto 28 delle osservazioni pervenute da parte del MATTM, con lettera prot. DVA-0001682/CTVA del 06/05/2016 si richiede:

"Venga integrato il progetto definitivo con l'approfondimento delle relazioni specialistiche tra cui la Relazione Geologica e geo idrologica, la Relazione Geotecnica e geomeccanica, la Relazione sismica (compresa quella sulle strutture)".

Il presente Report risponde a tale richiesta attraverso l'analisi geologica, geomorfologica e idrogeologica dell'area di intervento nonché l'analisi geotecnica e sismica in riferimento alle strutture previste in sito.

1.1 STRUTTURA DEL DOCUMENTO

La presente relazione è composta dai seguenti Capitoli:

- Introduzione (Capitolo 1) in cui vengono fornite informazioni introduttive e lo scopo del documento;
- Ubicazione e definizione dell'area di intervento (Capitolo 2) in cui si descrive l'ubicazione dell'area pozzo Agosta 1 dir.
- Caratterizzazione geologica e geomorfologica (Capitolo 3) dell'area di studio a scala regionale e sito specifica.
- Caratterizzazione idrografica e idrogeologica (Capitolo 4) sia a scala regionale che a scala di intervento;
- Modello sismico sito specifico (Capitolo 5) in cui si riporta la sintesi dell'inquadramento sismico a scala provinciale e sito specifico con particolare riguardo alla pericolosità sismica di sito;
- Analisi geotecnica sito specifica (Capitolo 6);
- Verifica della sicurezza e delle prestazioni delle opere di fondazione (Capitolo 7);
- Conclusioni (Capitolo 8), in cui si riporta il modello concettuale sito specifico dell'area di intervento.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

2 UBICAZIONE E DEFINIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area di intervento è ubicata nella porzione sud orientale della Provincia di Ferrara, più precisamente nel territorio delle Valli di Comacchio, all'interno del territorio comunale di Comacchio.

Nello specifico gli interventi in progetto ricadono nel Foglio 205 III "Menate" della cartografia IGM scala 25.000 e nell'elemento al 5.000 n. 205103 "Impianto idrovora di Fosse" della carta tecnica regionale. Il sito si trova a Sud-Ovest del centro abitato di Comacchio, da cui dista circa 8,5 km ed a circa 1,5 km dal più vicino limite della Valle Pega.

L'area di intervento insiste in una zona agricola pianeggiante posta ad una quota compresa tra - 2,5 e - 3,0 m s.l.m. (area posta sotto il livello del mare). In passato tale area è stata oggetto di interventi di bonifica grazie al quale i terreni paludosi preesistenti sono stati trasformati in coltivi disposti in grandi e regolari appezzamenti delimitati da una rete ordinata di strade poderali e canali.

Il margine sud orientale dell'area di intervento ricade nelle vicinanze della superficie occupata dall'esteso ambiente idrico salmastro delle Valli di Comacchio, aree naturalistiche di grande interesse.

La viabilità agraria presente si raccorda con quella ordinaria, Via Agosta – Via per Anita nei pressi dell'Idrovora di Fosse a circa 1,5 km dall'area pozzo.

La messa in produzione del pozzo Agosta 1 dir richiede la realizzazione di una condotta di collegamento per l'adduzione del gas dal pozzo stesso all'area Snam Rete Gas, già esistente e ubicata nei pressi della viabilità ordinaria a circa 2,5 km dal pozzo.

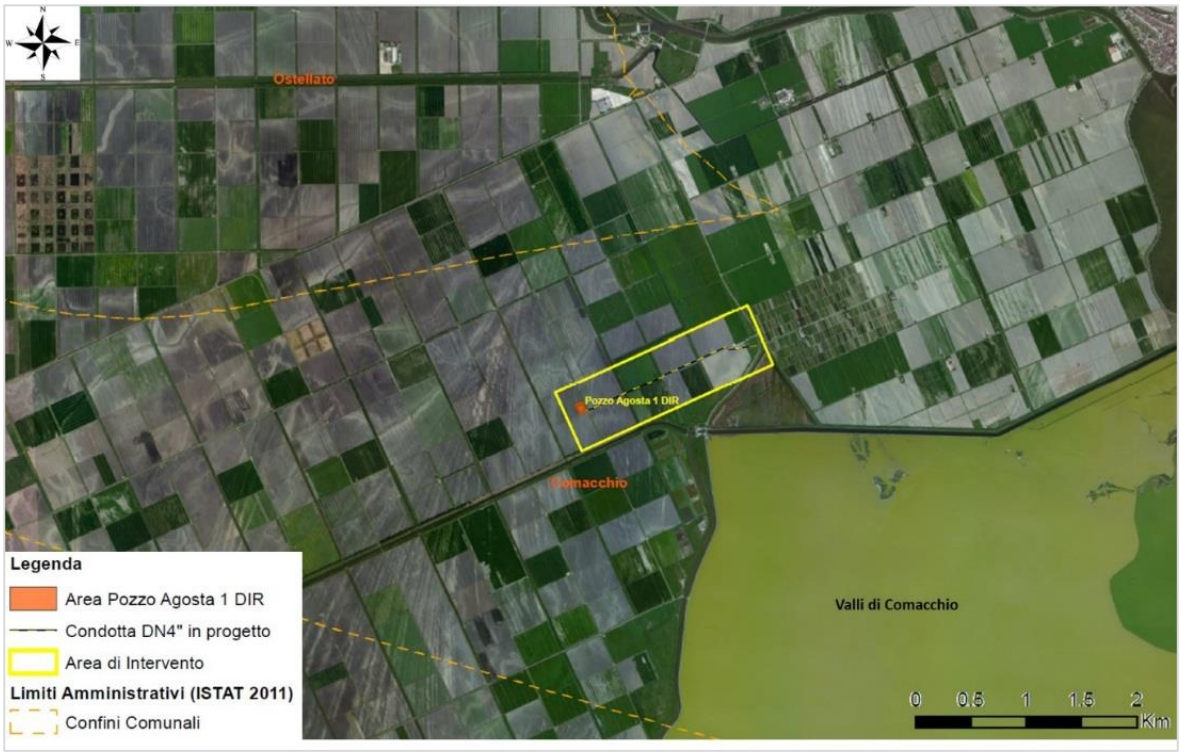


Figura 2-1 Ubicazione dell'area di intervento

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

2.1 STATO ATTUALE DELL'AREA POZZO

L'area pozzo Agosta 1 dir occupa una area di circa 13.800 m^2, attualmente delimitata da una recinzione metallica (Figura 2-2).

In fase di realizzazione della postazione l'area è stata livellata e compattata; al di sopra del piano compattato sono stati posati teli di tessuto non tessuto (TNT) al fine di separare il terreno naturale sottostante dai terreni di riporto e rendere più agevole il ripristino ambientale dell'area al termine della produzione.

All'interno dell'area pozzo sono presenti:

- la cantina in cemento armato (c.a.);
- la testa pozzo protetta da gabbionatura metallica di sicurezza;
- superfici impermeabilizzate in c.a per una superficie complessiva di circa 990m^2, relativi a solette della zona impianto, della zona pompe-vibrovaglio, della zona vasche fanghi;
- rete in canalette in calcestruzzo (cls) prefabbricato, protette da griglie di sicurezza che delimitano le aree pavimentate.

La parte del piazzale non cementata adiacente alla superficie in c.a. è ricoperta di ghiaietto, mentre nella restante parte è presente terreno vegetativo.

In area parcheggio sono presenti i basamenti che accolgono la stazione SSU (Satellite Survey Unit) di monitoraggio geodinamico dell'area.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

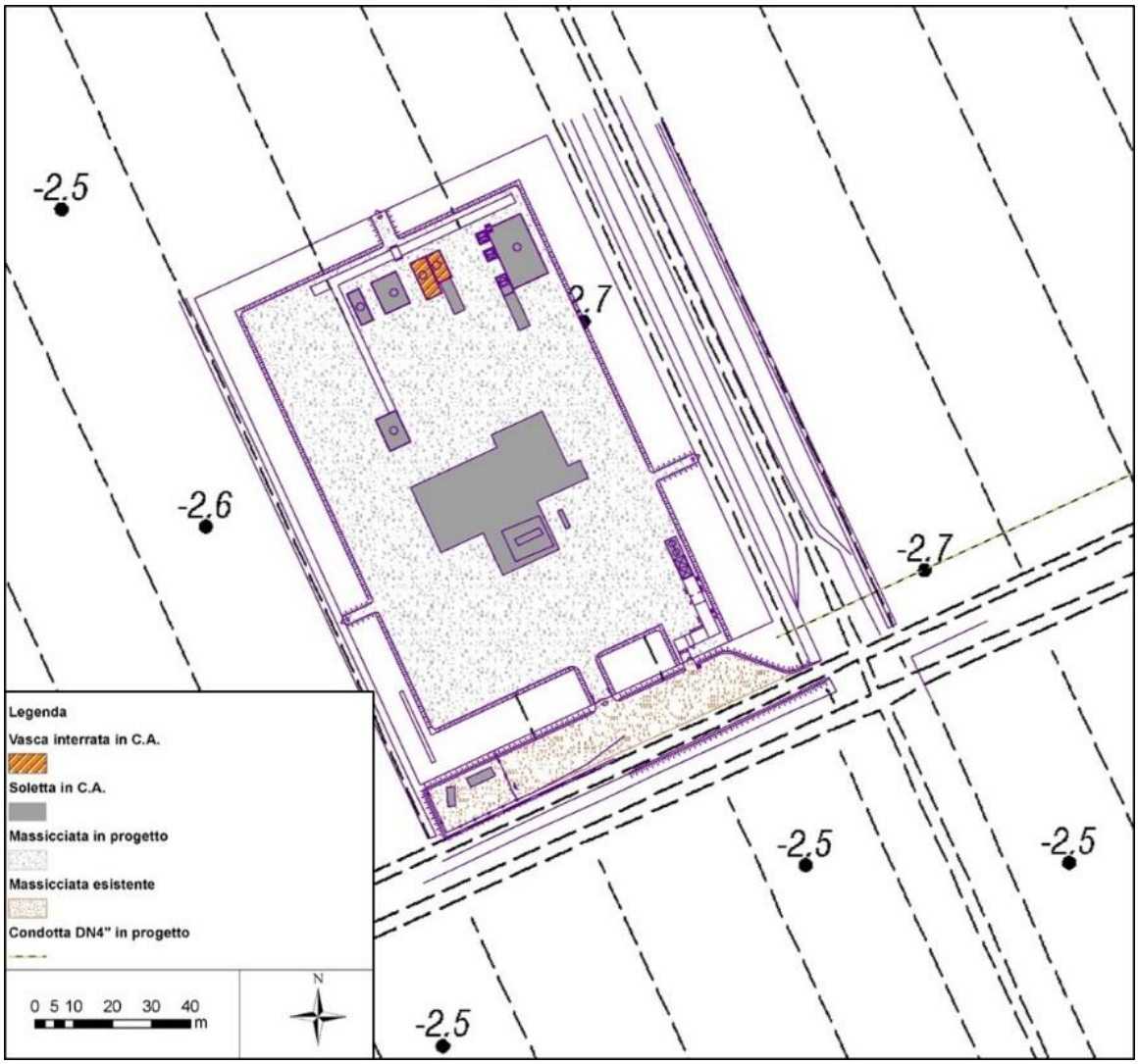


Figura 2-2 Planimetria di dettaglio dell'area pozzo Agosta 1 dir

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE REGIONALE

L'area di interesse ricade nella porzione sud orientale della Pianura Padana che, da un punto di vista strutturale, costituisce una parte del bacino d'avampaese di età plio-quaternaria delimitato a Sud dalla catena appenninica e a Nord da quella alpina. Le successioni quaternarie che riempiono tale bacino sono coinvolte in una serie di pieghe e *thrust* ad andamento parallelo con orientazione circa NO-SE nel settore di pianura in esame e raggiungono lo spessore massimo di circa 2000 m (Ricci, Lucchi et alii, 1982; Pieri & Groppi, 1981; Cassano et alii, 1986).

La messa in posto delle due catene è avvenuta rispettivamente nell'Oligocene-Miocene Superiore e nel Miocene Superiore-Pliocene Inferiore (con modeste riprese fino al Pleistocene), generando due sistemi arcuati di pieghe, il primo a vergenza meridionale, il secondo a vergenza settentrionale e Nord-orientale. Questa diacronia evolutiva ha portato alla completa copertura delle falde Sud-alpine con una successione terrigena pliocenica ad andamento monoclinalico immergente verso Sud o blandamente ondulata, mentre la stessa successione risulta variamente accavallata lungo il fronte delle pieghe appenniniche (Figura 3-1).

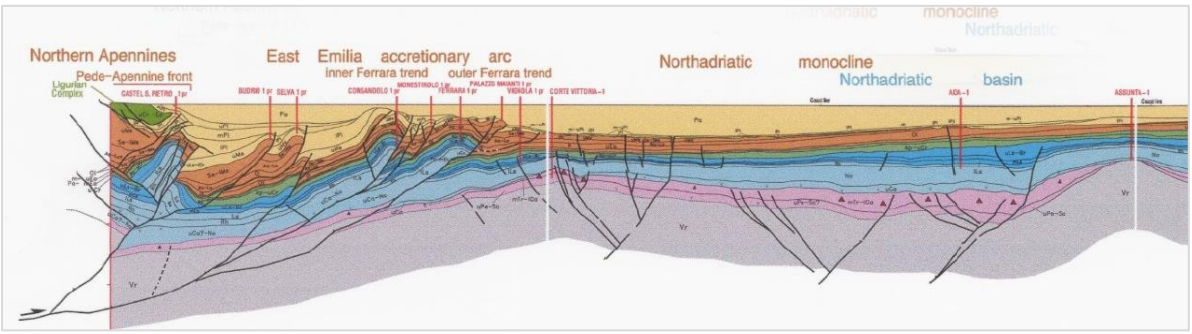
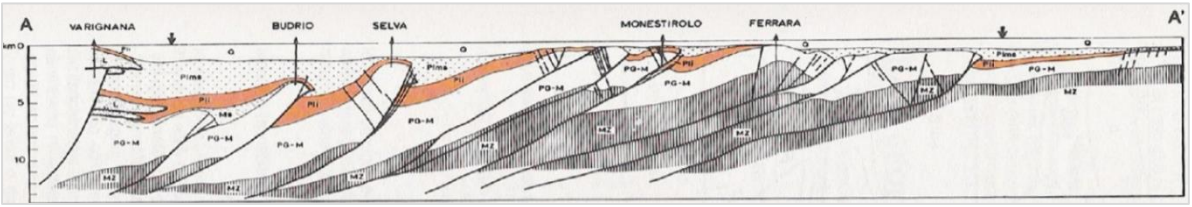


Figura 3-1 Sezione geologica SO-NE attraverso la Pianura Padana (R. Fantoni, R. Franciosi, 2008)

Le ricerche hanno consentito una conoscenza sempre più approfondita delle strutture che caratterizzano il fronte tettonico sepolto dell'Appennino settentrionale. E' ormai noto che la catena appenninica prosegue verso NNE, nel sottosuolo della pianura, per circa 40 km, sviluppandosi anche a Nord di Ferrara.

Questa fascia tettonica, nel suo complesso, è costituita da un sistema di grandi accavallamenti caratterizzati da superfici di sovrascorrimento a basso angolo, immergenti verso SSO e vergenza a NNE, che hanno generato un insieme di grandi pieghe superficiali costituite dalla coppia sinclinale-anticlinale fagliata, traslata sulla coppia immediatamente più esterna. In tal modo ampie pieghe sinclinali risultano interposte fra le più strette culminazioni anticlinali che rappresentano i rilievi sepolti associati ai singoli fronti di sovrascorrimento (Figura 3-2)



This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Figura 3-2 Sezione geologica SO-NE lungo le Pieghe Ferraresi (A. Castellarin, G.B. Vai, 1986)

3.1.1 Evoluzione del bacino padano

Limitatamente al settore appenninico orientale, e con particolare riguardo alle successioni terrigene plioceniche, la stratigrafia generale dell'area può essere schematizzata sulla basa sulla documentazione AGIP-ENI ("Guida alla geologia del margine appenninico-padano" – G. Cremonini & F. Ricci Lucchi, 1982) (Figura 3-3).

L'area orientale padana è stata coinvolta nel corso di milioni di anni in fenomeni di ingressione e trasgressione marina. Le variazioni eustatiche hanno comportato una organizzazione ciclica dei depositi marini e continentali in successioni di vario ordine gerarchico. Di seguito viene descritta una sintesi delle principali fasi di deposizione che hanno interessato il bacino padano a partire dal Cenozoico.

Oligocene – Pliocene (sedimentazione marina)

Durante l'Oligocene il bacino della Pianura Padana è stato caratterizzato da una marcata subsidenza su cui si è impostato un ciclo di sedimentazione marina che si è concluso nel Messiniano. Nel settore pedeappenninico la sedimentazione marina si è avuta prevalentemente dal Pliocene inferiore al Pleistocene medio-superiore, con forte accentuazione della subsidenza, differenziata nello spazio e controllata dalle strutture tettoniche.

Pleistocene (sedimentazione marina – terrestre di transizione)

Durante tutto il Pleistocene medio i principali sedimenti di riempimento dell'avanfossa padana, risultano essere costituiti da formazioni in facies marina, anche se sporadicamente interrotti da episodi trasgressivi più o meno generalizzati; infatti solo a partire da questa epoca compaiono depositi aventi carattere continentale, di origine fluviale.

Il passaggio dalla sedimentazione marina a quella continentale, è contrassegnato da depositi di transizione quali sabbie e ghiaie, talora cementate, di ambiente litoraneo e peliti sabbiose e ghiaie di ambiente deltizio.

In particolare all'interno di tale periodo è possibile distinguere tre distinte fasi di sedimentazione di origine glaciale e fluviale; in cui l'ultima (fase Wurmiana) ha visto la sedimentazione di depositi alluvionali ghiaioso-argillosi, con suoli bruni o giallo-rossastri, tipici di fenomeni di regressione marina che hanno portato un abbassamento del livello del mare e conseguente arretramento della linea di costa.

Lo scioglimento dei ghiacci ha determinato un fenomeno trasgressivo 'trasgressione flandriana' (piano dell'olocene che rappresenta il ciclo più recente della serie di sedimentazione marina, costituita da sabbie bianche o giallastre.), esplicabile con l'avanzamento della linea di riva sulle terre emerse, che ha portato il mare a ridosso delle colline a Sud di Rimini ricoprendo vaste aree depresse e subsidenti del ravennate e del Delta Padano.

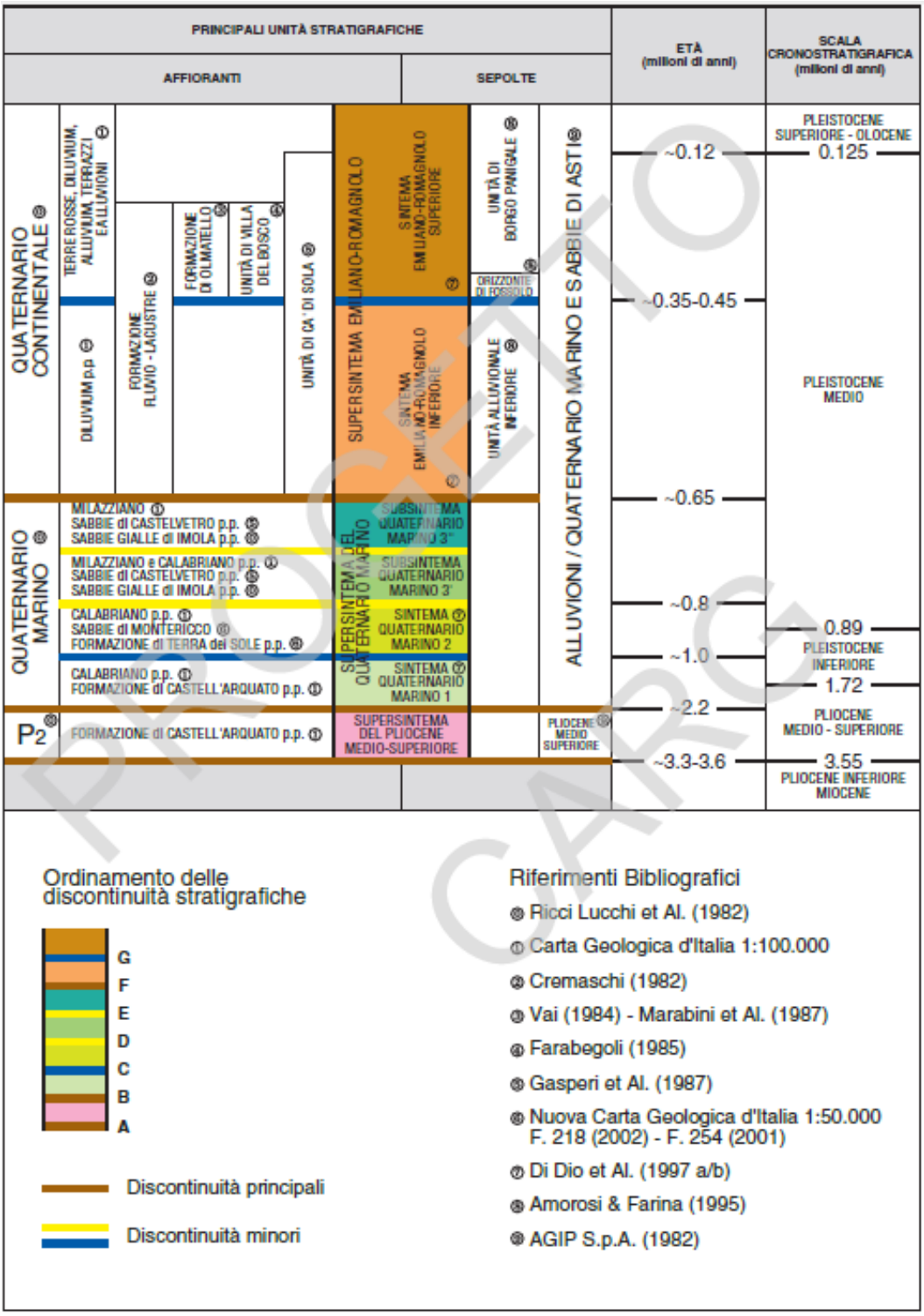
Olocene - Attuale (sedimentazione terrestre)

Durante tale fase si assiste alla deposizione di sedimenti di origine alluvionale (post glaciale), di seguito elencati partendo dal più antico:

- Alluvioni antiche sabbioso-ghiaiose e argilloso limose, che compaiono su limitate estensioni negli alvei attuali. Esse formano un basso terrazzamento fra il fluviale Wurm e le alluvioni mediorecenti, testimoniando la prima fase di deposizione fluviale posteriore al Wurm.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

- Alluvioni medio-recenti limose localmente sabbiose, identificabili con il più basso terrazzo che orla in modo discontinuo gli alvei attuali.
- Alluvioni attuali ghiaioso-sabbiose che ricoprono gli alvei degli attuali corsi d'acqua e che portano alla stabilizzazione della linea di costa (5000 anni fa), con migrazione della stessa da Ovest verso Est fino all'attuale posizione.



PROGETTO CARG

Figura 3-3 Schema stratigrafico dei depositi plio-quaternari. Tratta da RER-ENI/AGIP, 1998; rivista nelle Note Illustrative del Foglio 204 Portomaggiore (Carta Geologica d'Italia Progetto CARG, 1:50.000, 2005)

3.1.2 Inquadramento litostratigrafico

Da un punto di vista litologico, in riferimento alla Carta Geologica d'Italia Foglio 205 Comacchio - 1:50.000 (Figura 3-4) e alla Carta Geologica e Litologica della Regione Emilia Romagna - 1:10.000 (Tavole 2a e 3a), è possibile distinguere le principali formazioni geologiche affioranti nella provincia di Ferrara.

In generale, secondo quanto riportato all'interno delle Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia - Foglio 205 Comacchio (ISPRA, Servizio Geologico d'Italia) il territorio è caratterizzato dal Supersintema Emiliano-Romagnolo; unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (Ricci, Lucchi et alii, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (Figura 3-3). Questi ultimi, nel settore orientale, includono depositi alluvionali che passano verso Est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico.

Il limite inferiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo affiora solamente a ridosso del margine appenninico, mentre il limite superiore coincide col piano topografico. L'età di deposizione risulta essere compresa tra il Pleistocene medio ed oggi (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo a sua volta risulta suddiviso in due sintemi:

- **Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI)**, che costituisce la parte più antica del Supersintema Emiliano-Romagnolo (Pleistocene medio), deposto in ambiente sedimentario di piana costiera, bacino interfluviale e conoide distale. Risulta essere costituito da depositi limosi e limoso argillosi, di colore tipicamente grigio azzurognolo, nei quali si intercalano livelli ghiaiosi, esso presenta uno spessore massimo di circa 300 m.

- **Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES),** costituisce la parte più recente del supersintema ed è costituito essenzialmente da depositi di piana deltizia e piana di sabbia e di piattaforma (sommersi) e più in generale da depositi in facies deltizia, marina e continentale.

Nel Foglio 205 Comacchio affiorano solo i depositi appartenenti al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES), di seguito descritti con riferimento alle note illustrative della carta geologica d'Italia Foglio 205 - Comacchio (Servizio geologico d'Italia).

Subsintema di Ravenna (AES_8) (Pleistocene Sup. Olocene)

Costituisce la porzione sommitale del Sistema Emiliano – Romagnolo Superiore e risulta essere composto da sabbie, argille e limi di ambiente alluvionale, deltizio e litorale organizzati in corpi sedimentari a geometria tabulare, cuneiformi, lenticolari e nastriformi di spessore plurimetrico; con spessori medi compresi tra 12 e 30 m.

In particolare i depositi riscontrati in Figura 3-4 possono essere suddivisi in:

- Sabbie e limi di canale distributore comprendenti sabbie fini e finissimi alternate a limi, limi sabbiosi e limi argillosi. Formano corpi sedimentari a geometria nastriforme di spessore massimo pari a 4 m.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

- Sabbie di cordone litorale comprendente sabbie da fini a grossolane in strati sottile, che formano un corpo sedimentario complesso cuneiforme di spessore massimo pari a 20 m.

Il Subsintema di Ravenna poggia a tetto del Subsintema di Villa Verrucchio (AES_7) non affiorante; per quanto riguarda il limite superiore esso coincidente con il piano topografico.

Unità di Modena (AES_{8a}) (Pleistocene Sup. Olocene)

Al tetto del subsintema di Ravenna è stata riconosciuta un'ulteriore superficie di discontinuità, ben definita al margine appenninico padano, che permette di distinguere un'unità di rango minore denominata unità di Modena (AES8a).

Questa unità comprende essenzialmente depositi di fronte di piana deltizia organizzati in corpi lenticolari, tubolari e cuniformi ed in generale presentano uno spessore di pochi metri; in particolare è possibile riscontrare:

- Argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice (di laguna e palude), comprendente argille limose, argille e limi argillosi intercalati localmente ad argille torbose e torba. Si tratta di depositi di palude e laguna con forma lenticolare o tabulare con spessori massimi pari a 10 m. Passano lateralmente e verticalmente a depositi di canale distributore

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

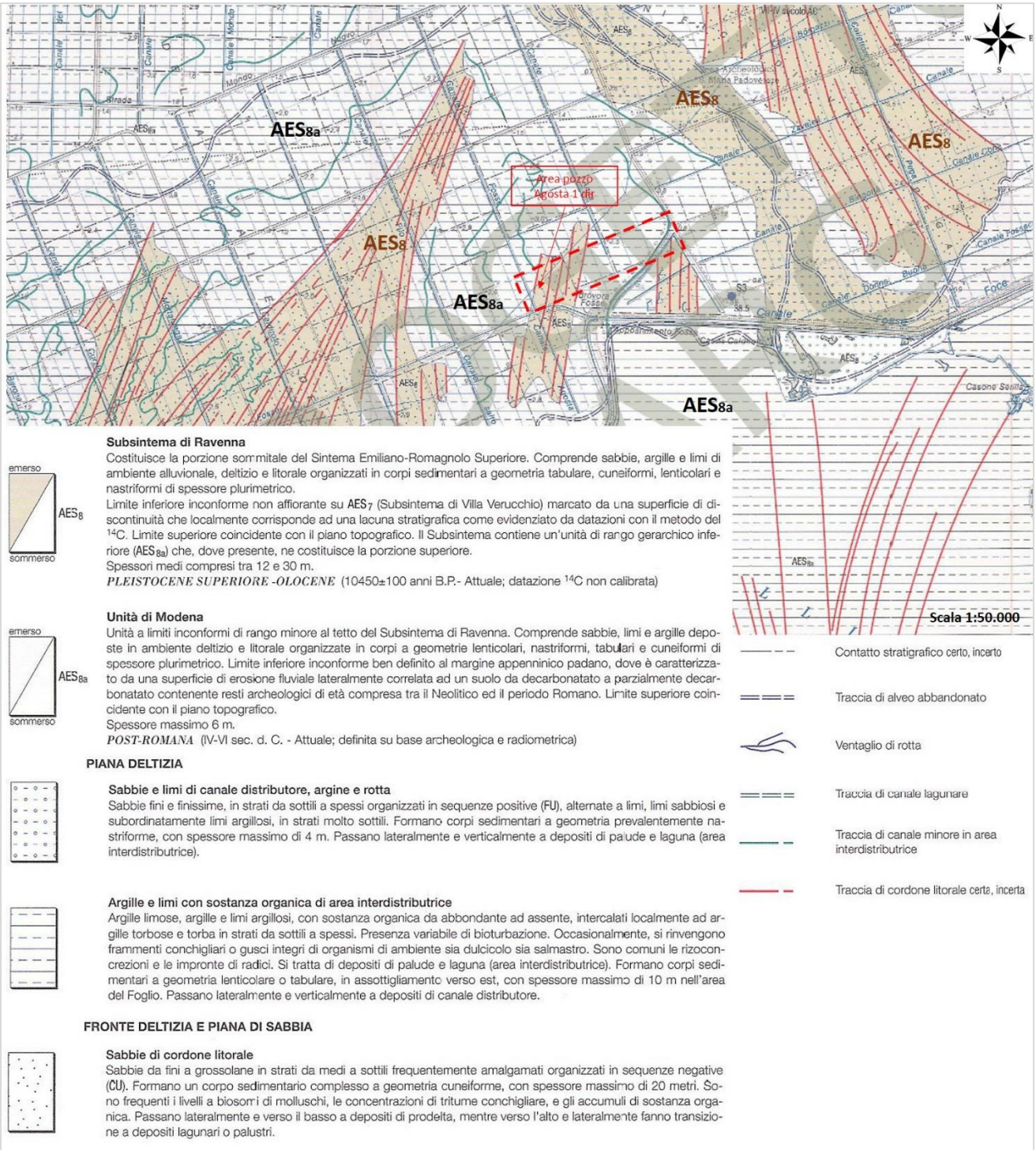


Figura 3-4 Estratto tratto dalla Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50000 – Foglio 205 Comacchio (Progetto CARG)

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE

Dal punto di vista geomorfologico l'area in esame è fortemente caratterizzata dal sistema deltizio del fiume Po (Tavola 4a), che ha plasmato il territorio attraverso un sistema idrografico complesso, costituito da

- Ambienti vallivi, composti da specchi d'acqua delimitati da sistemi di argini in parte ormai bonificati, all'interno di sistemi lagunari;
- Ambienti litorali, rappresentati zone di costa in costante evoluzione.

In particolare l'area di studio ricade nel contesto vallivo delle valli di Comacchio all'interno dell'area del Mezzano; attualmente tale zona si presenta pianeggiante e regolarizzata da canali artificiali a scolo meccanico. Le profonde modifiche antropiche legate agli interventi di bonifica della pianura Ferrarese, cominciate nel Rinascimento e terminate nel 1964, hanno restituito 18.000 ha di territorio agricolo costituito da una zona colmata pianeggiante e depressa (- 2,7 m sotto il livello del mare).

La topografia del territorio risulta Pertanto caratterizzata da lievissime pendenze la cui direzione predominante è da Ovest verso Est con quote medie del piano campagna che variano da circa 10 m s.l.m. in prossimità di Ferrara a -2 m s.l.m. in prossimità del litorale adriatico, dove i territori sono protetti da cordoni dunari e opere antropiche di difesa (Figura 3-5).

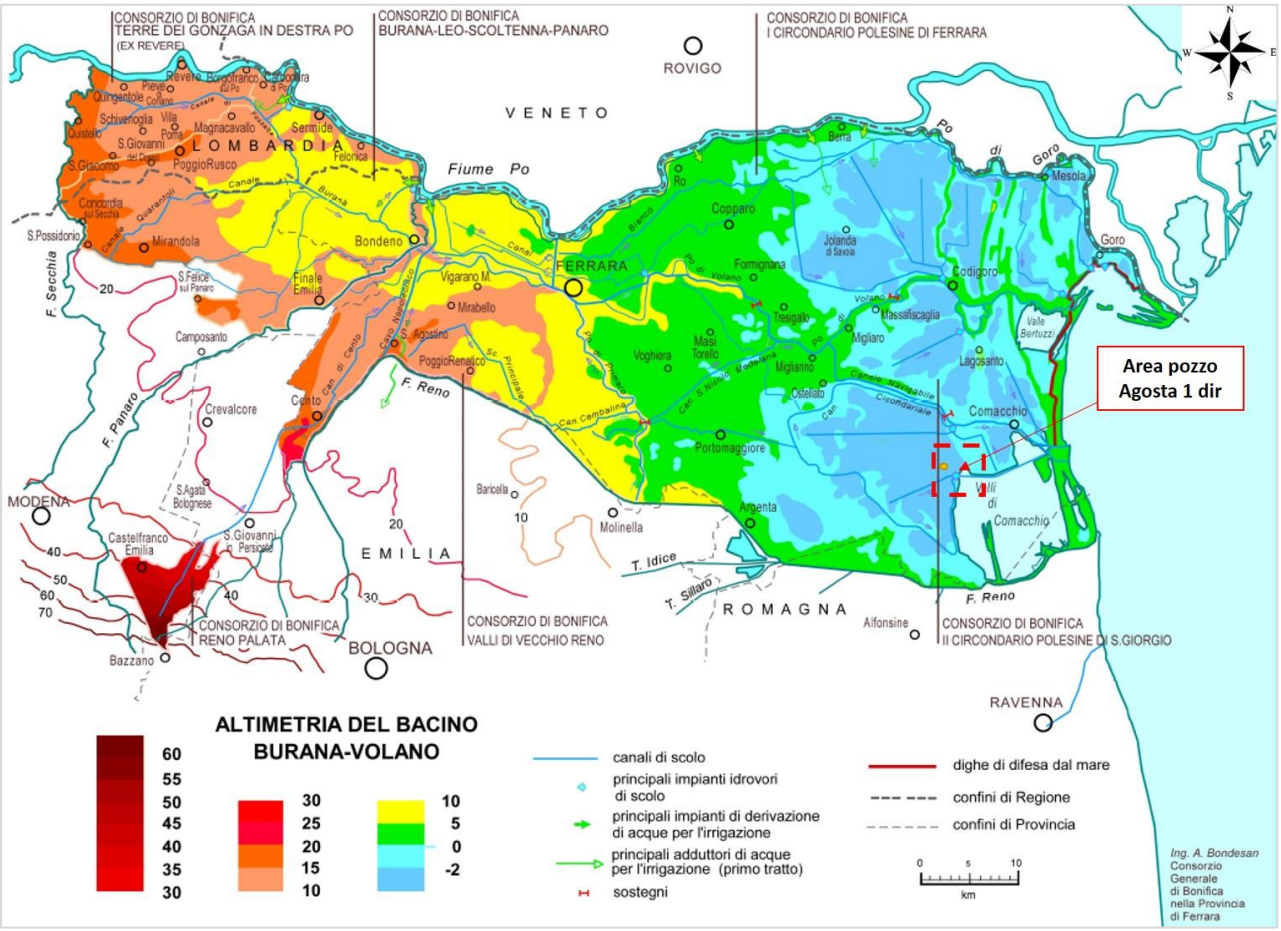


Figura 3-5 Andamento Altimetrico all'interno del Bacino Burana Volano (estratto tratto dal Piano di Tutela delle Acque della Provincia di Ferrara, 2010)

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

I principali elementi morfologici che caratterizzano l'area vasta, legati ad ambienti marini lagunari, risultano essere paleoalvei, cordoni dunali e sistemi di arginatura lungo i corsi d'acqua (Bodesan, 1985).

Tali elementi si riscontrano all'interno delle zone vallive presenti nell'area di studio, che comprende quanto rimane delle vaste valli salmastre ricche di barene e dossi con vegetazione alofila che sino ad un secolo fa caratterizzavano la parte Sud-Orientale della provincia di Ferrara e che ancora oggi costituiscono il più esteso complesso di zone umide salmastra della regione.

Tra queste quelle più note sono le Valli di Comacchio (Figura 3-6), che costituiscono il più grande complesso di zone umide della Regione Emilia Romagna, e al cui interno è possibile identificare le valli Fossa di Porto (nei pressi dell'area pozzo Agosta), Lido, Campo, Fattibello e Capre e i relitti di valli adiacenti ormai bonificate tra cui l'Oasi Fossa di Porto (o di Zavelea) e la Valle Molino. L'estensione totale dell'area è di 11.400 ettari con una profondità media di 0,60 m e massima pari a 1,5 – 2,0 m (Piano dell'Arenile di Comacchio – Relazione geologica, Comune di Comacchio).

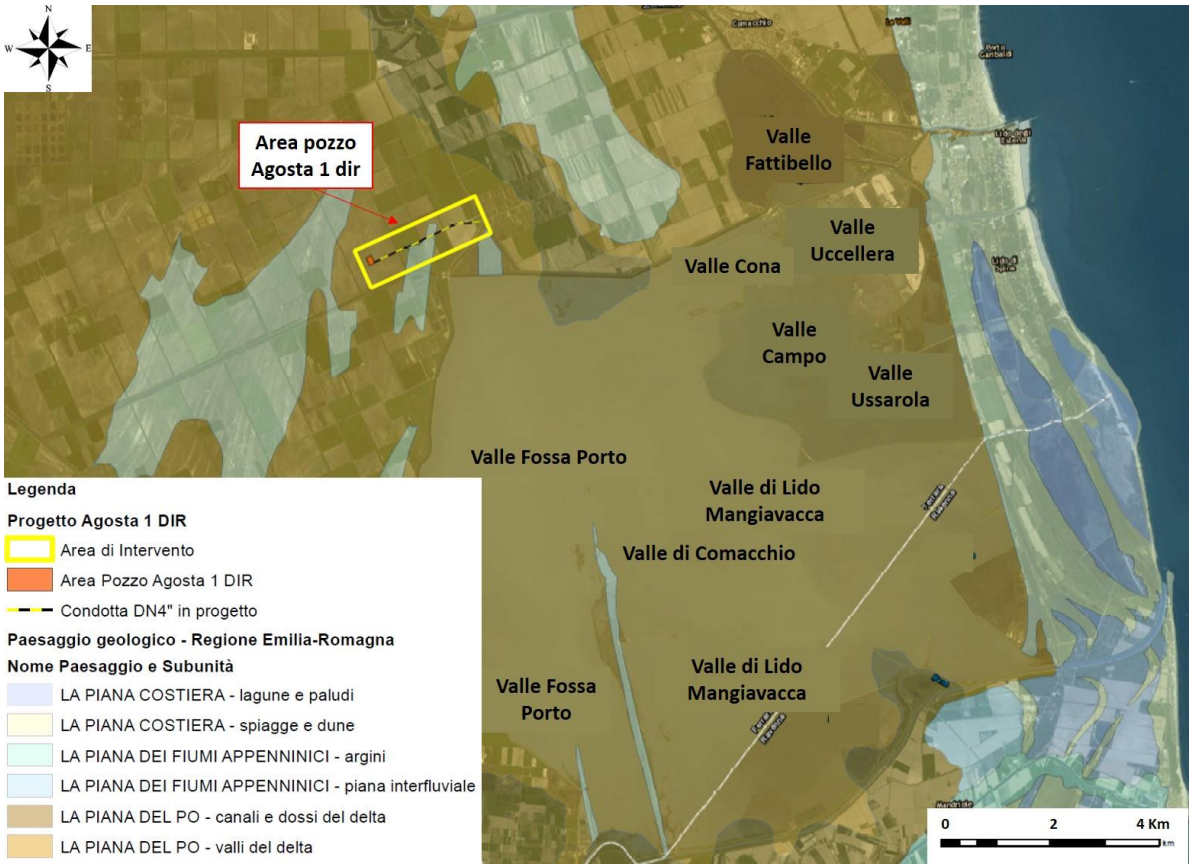


Figura 3-6 Ubicazione delle Valli di Comacchio (fonte dati Regione Emilia Romagna - rielaborazione Amec Foster Wheeler*)*

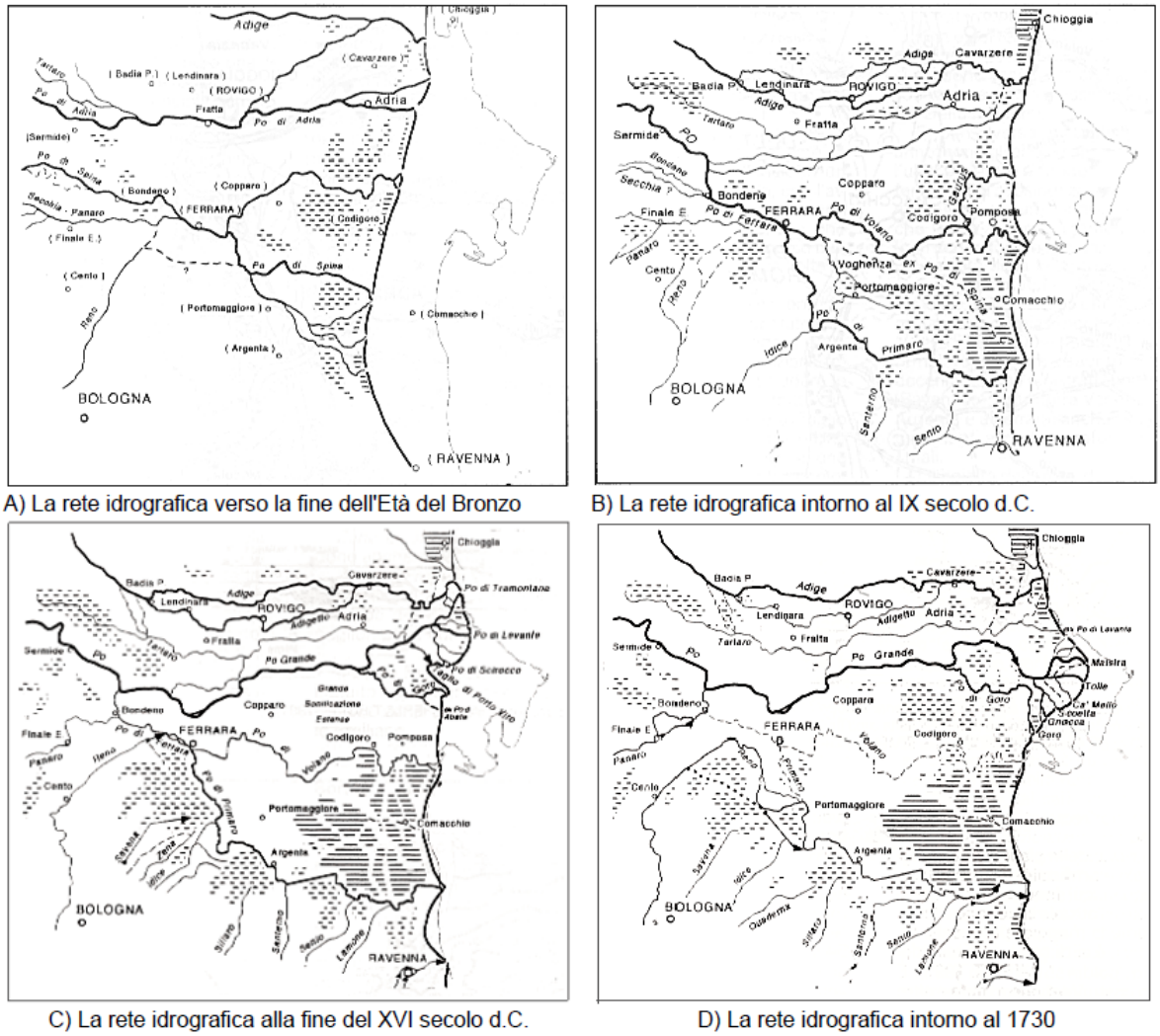
3.2.1 Evoluzione dell'apparato deltizio del fiume Po

Le Valli di Comacchio si sono formate con l'abbassamento spontaneo del delta del Po nel corso dei secoli. Lagune e paludi, seppur più ridotte, esistevano anche quando la rete

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

idrografica padana interessava direttamente questi territori; ma è stato soprattutto con la crisi e l'estinzione dell'Eridano (antico ramo del fiume Po) avvenuta nel Medioevo, che ha preso il sopravvento l'ambiente palustre, quando la subsidenza non è stata più compensata dall'apporto di nuovi sedimenti.

Dopo il X secolo e poi con il declino del Po di Primaro conseguente alla "rotta di Ficarolo" (serie di alluvioni che modificarono il corso del fiume), tale situazione si è ulteriormente aggravata, si sono accentuati i fenomeni di rimonta delle acque marine, e si è così formato quel vastissimo insieme di valli salmastre che fino ad un secolo fa caratterizzava la parte sud-orientale della provincia di Ferrara (Figura 3-7).



A) La rete idrografica verso la fine dell'Età del Bronzo

B) La rete idrografica intorno al IX secolo d.C.

C) La rete idrografica alla fine del XVI secolo d.C.

D) La rete idrografica intorno al 1730

Figura 3-7 Evoluzione dell'apparato deltizio del fiume Po (Bondesan, 1990)

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

3.3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area interessata dal progetto di messa in produzione del pozzo Agosta 1 dir rientra all'interno di una vasta zona umida nei pressi delle Valli di Comacchio, distante nel suo punto più vicino circa 1,5 Km in direzione Sud Est.

La morfologia risulta essere pianeggiante con una altezza media compresa tra -2,5 m e -3 m s.l.m. e caratterizzata da una serie di canali di origine antropica; le uniche forme morfologiche di origine naturale rilevate risultano essere: antichi paleoalvei e cordoni dunali di natura sabbiosa.

Come è possibile osservare in Figura 3-8, secondo quanto riportato dalla Carta geomorfologica della Regione Emilia Romagna, nella parte centrale dell'are di intervento si rinviene:

- un cordone dunale, costituito da depositi sabbiosi allungati parallelamente alla linea di riva e sviluppatisi a seguito del ritiro del mare;
- tracce di paleoalvei e di canali di aree interdistributrici.

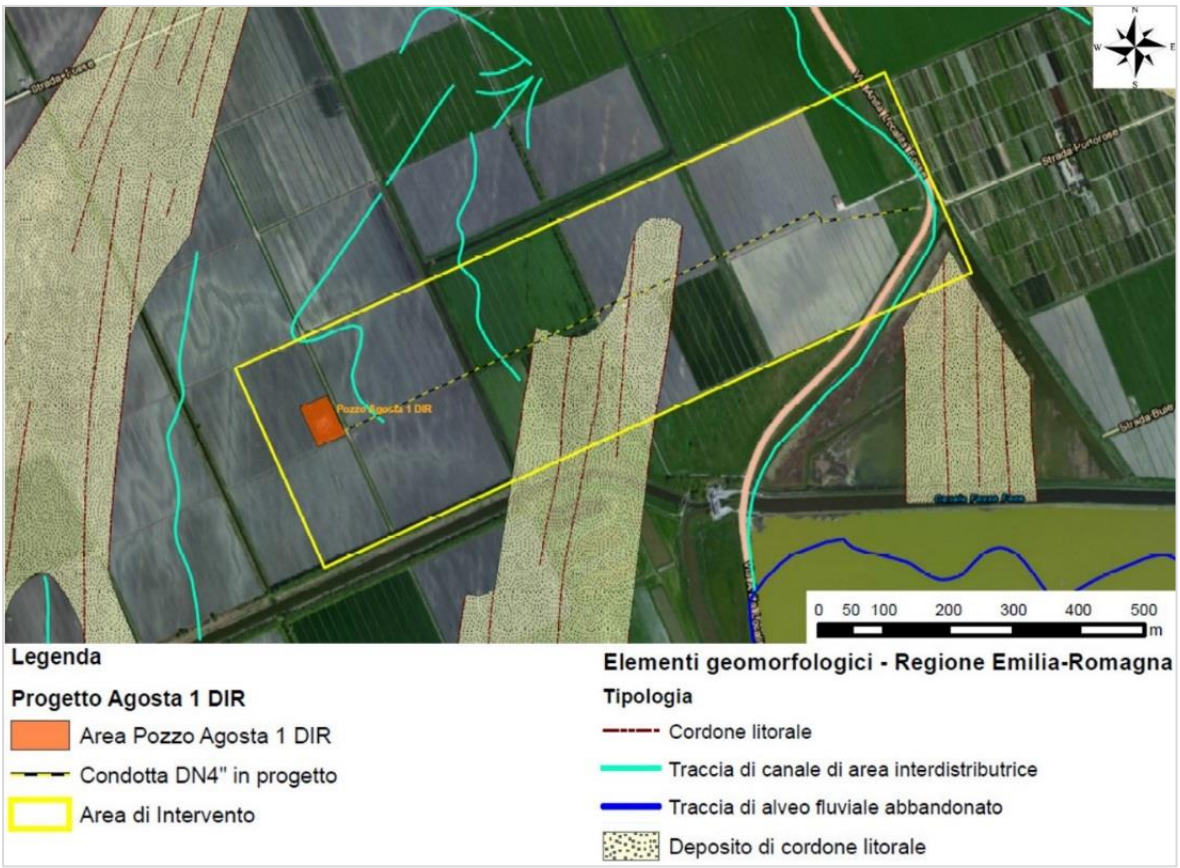


Figura 3-8 Carta geomorfologica Area di Dettaglio pozzo Agosta 1 dir (estratto tratto dalla Carta Geomorfologica delle Regione Emilia Romagna)

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

3.3.1 Ricostruzione stratigrafia di dettaglio

Data la complessità dell'area la ricostruzione stratigrafica sito specifica, di seguito esposta, ha tenuto conto di:

- studi geologici regionali/provinciali tra i quali "Elaborazione delle stratigrafie, relative ai sedimenti olocenici, 1992 – ENEA";
- sondaggi e prove geognostiche eseguite nel territorio comunale di Ferrara i cui risultati sono raccolti all'interno della banca dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna;
- indagini geologiche sito specifiche tra cui n.3 prove penetrometriche (CPT) eseguite nel 2002 e n.15 sondaggi geognostici realizzati nel 2006 a supporto dell'analisi di fattibilità geologica e ambientale per la postazioni Agosta 1 – Carpene 1 (Fe);
- perforazione del pozzo esplorativo Agosta 1 dir.

Di seguito vengono riportati i principali risultati ottenuti da tali analisi, nello specifico si è provveduto a distinguere una stratigrafia di dettaglio superficiale (primi 20 m da p.c.) ed una stratigrafia a scala maggiore.

Ricostruzione stratigrafica profonda

La ricostruzione stratigrafica profonda risulta desumibile dalla sezione geologica redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna e dalla stratigrafia redatta a seguito della perforazione del pozzo Agosta 1 dir, profondo circa 2253 m da p.c.

Come è possibile osservare dall'estratto della sezione geologia (Figura 3-9) il sottosuolo dell'area di intervento è caratterizzato da una serie di depositi sedimentari costituiti principalmente da sabbie alternate a livelli argillosi limosi e costituenti il Sistema Emiliano Romagnolo. In particolare è possibile distinguere, dai depositi più superficiali a quelli più profondi:

- depositi sabbiosi, argillosi e limi organici appartenenti al Subsintema di Ravenna (da p.c. a -40 m s.l.m.);
- depositi di sabbie deltizie e di cordone litorale alternati a limi organici e argille/limi di prodelta e di piattaforma; tali depositi appartengono al Subsintema di Villa Verrucchio (da -40 m a – 130 m s.l.m.)
- depositi sabbioso fluviali, sabbie di barriera trasgressiva e di cordone litorale con livelli argillosi e limi di prodelta e piattaforma; tali depositi appartengono al Subsintema di Bazzano (da -130 m a -220 m s.l.m);
- alternanza di sabbie, argille e limi di natura fluvio deltizia e di piattaforma indifferenziata appartenenti al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore indefferenziato (da -220 m a -380 m s.l.m.);
- alternanza di sabbie fluviali, sabbie fluvio deltizie e di piattaforma indifferenziata intervallate ad argille e limi di prodelta e di piattaforma appartenenti al Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (da -380 m s.l.m. a oltre -500 m s.l.m.).

Tale descrizione trova riscontro nella stratigrafia ottenuta a seguito della perforazione del pozzo Agosta 1 dir (Figura 3-10), comprendente nei primi 1000 m depositi sabbiosi con intercalazione limose/argillose (Sabbie di Asti). Tali depositi rientrano all'interno del Supersintema Emiliano Romagnolo riscontrato in sito e descritto in precedenza (Paragrafo 3.1.2 e Figura 3-3).

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

In linea generale i depositi incontrati durante le attività di perforazione, dal più recente sono:

- depositi sabbiosi con intercalazioni limose e argillose (Sabbie di Asti);
- depositi torbiditici di spessore compreso tra 1.500 e 2.000 m, costituiti da successioni di sabbie e siltiti alternate a strati argillosi (Formazione di Porto Corsini) e depositi torbiditici con aumento della frazione sabbiosa dovuta all'incremento del ritmo di sedimentazione con la conseguente sostituzione delle precedenti alternanze, con bancate sabbiose potenti fino a 100 m, separate da letti argillosi di pochi metri di spessore (Formazione di Porto Garibaldi);
- depositi arenacei alternati a strati argillosi (Formazione di Fusignano) di spessore variabile e più rari livelli conglomeratici, che possono raggiungere anche una notevole potenza (1.600 m nei dintorni di Correggio).

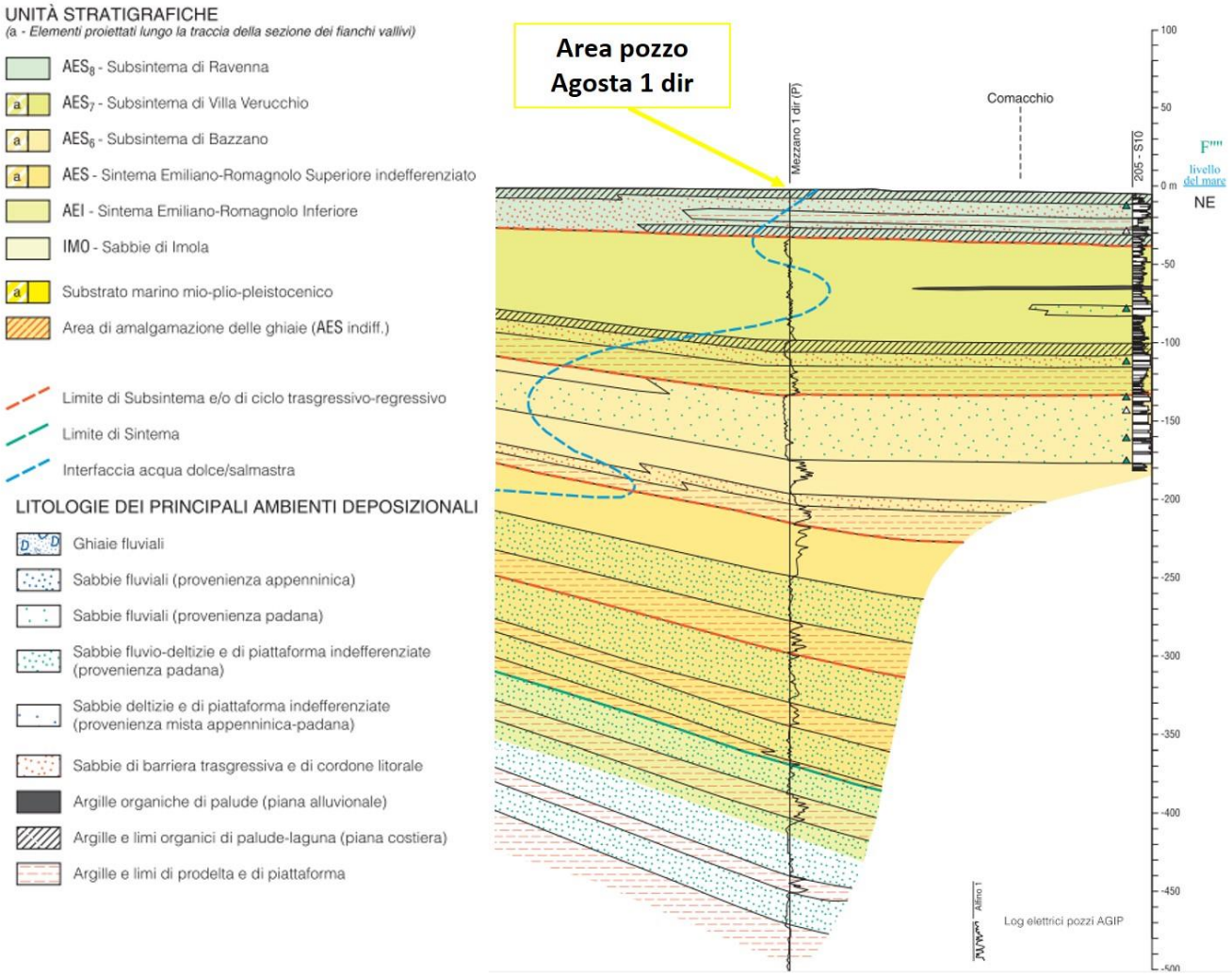


Figura 3-9 Estratto della sezione geologica redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

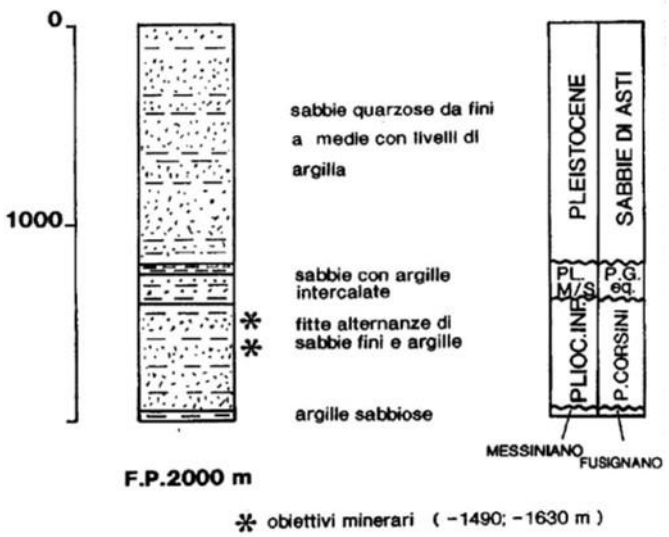


Figura 3-10 Stratigrafia pozzo Agosta 1 dir (fonte: Doc. SICS 210 - Studio di Impatto Ambientale Progetto messa in produzione pozzo Agosta 1 dir)

<u>Ricostruzione stratigrafica superficiale</u>

La stratigrafia sito specifica riscontrata nei primissimi metri è stata desunta attraverso l'analisi delle prove geognostiche (n.10 sondaggi profondi 10 m) e geotecniche (n.3 prove penetrometriche PTC profonde 20 m) effettuate per conto di eni nell'ambito di indagini preliminari effettuate tra il 2002 e il 2006, e successivamente verificata con studi geologici locali e con la Carta Litostratigrafica redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna. In Figura 3-11 si riporta l'ubicazione dei sondaggi e delle prove geotecniche eseguite in sito sovrapposte alla Carta Litostratigrafica della Regione Emilia Romagna.

Di seguito si propone la stratigrafia superficiale, partendo dai depositi più superficiali, riscontrata nell'area di intervento:

- terreno vegetale di spessore compreso tra 0,10 e 0,50 m;
- depositi argillosi scuri e torbosi, tipici di ambienti fluvio-lacustri, con abbondanti resti conchigliari, dello spessore indicativo di 1,6 m (dati tratti dalle prove CPT sito specifiche) e spessori massimi di 6 m verso il centro della valle di Mezzano;
- depositi sabbiosi grigiastri con livelli torbosi e intercalazioni di materiale conchigliare, fino ad una profondità indicativa di 11,50 m da p.c.;
- argilla limosa compatta compresa tra 11,50 e 16,0 m da p.c.;
- depositi sabbioso limosi da 16,0 a 20,0 m da p.c.

Tale ricostruzione stratigrafica trova riscontro con quanto riportato nella Carta litostratigrafica della Regione Emilia Romagna e con quanto descritto nel Paragrafo 3.1.2.

Come è infatti possibile osservare in Figura 3-11 (Tavola 3b) all'interno dell'area di intervento risultano essere presenti soprattutto argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice (codice ALT), perfettamente comparabili con i depositi argillosi e argillosi torbosi riscontrati dai sondaggi nella porzione superficiale.

Inoltre da segnalare la presenza di sabbie di cordone litorale nella parte centrale dell'area che trovano conferma con i livelli sabbiosi riscontrati soprattutto nel sondaggio P4 fino ad una profondità di 3,60 m.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

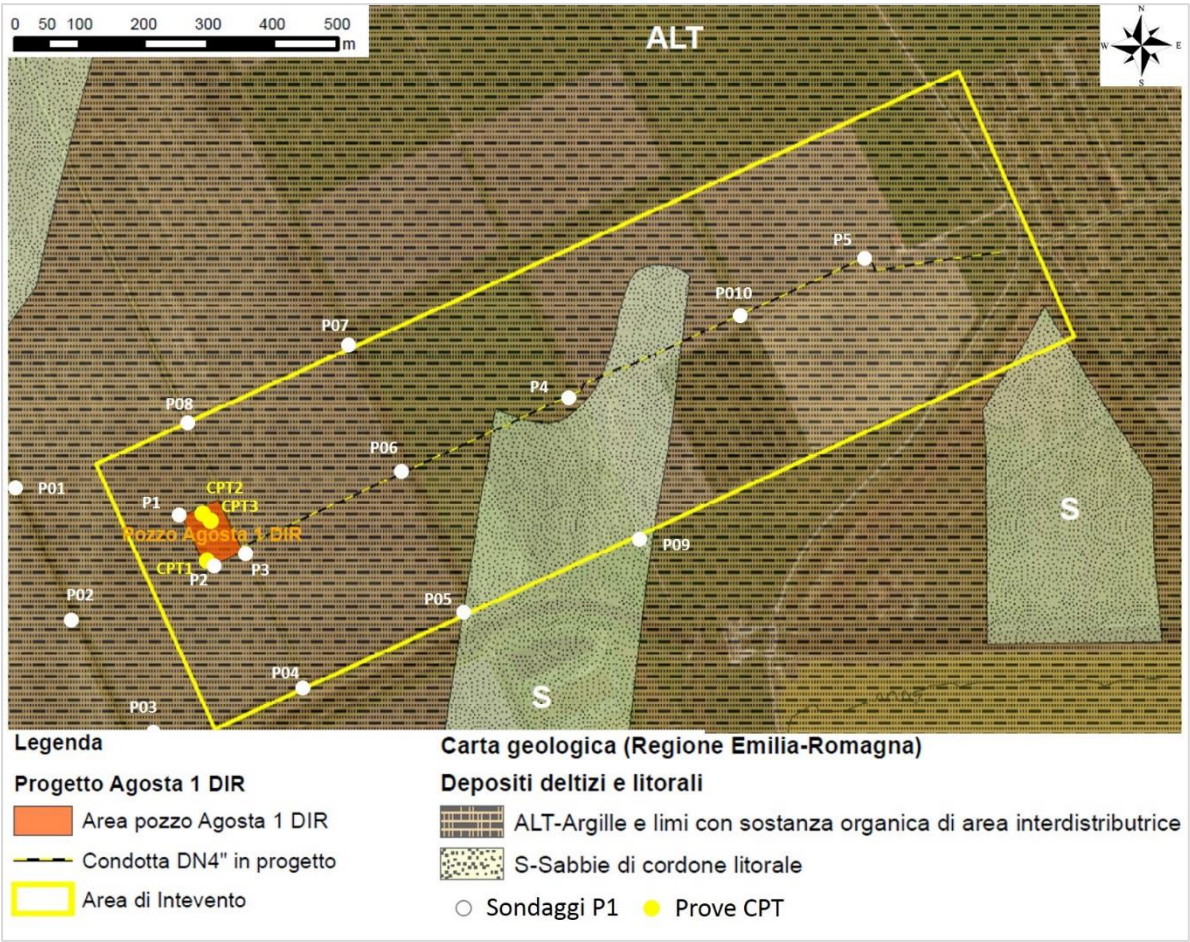


Figura 3-11 Carta Litostatigrafica (Regione Emilia Romagna) dell'area di intervento, pozzo Agosta 1 dir con ubicazione delle prove CPT (2002) e dei sondaggi geognostici (2006)

La descrizione precedentemente riportata trova inoltre riscontro con quanto descritto all'interno dello studio ENEA "*Elaborazione delle stratigrafie, relative ai sedimenti olocenici, 1992*", secondo cui la zona in cui ricade l'area di intervento presenta una sequenza continua di sedimenti argillosi da circa 16 m di profondità fino al piano campagna, terminando con sedimenti torbosi.

In particolare lo studio riscontra la presenza di depositi continentali (argille e sabbie più o meno torbose) con spessori massimi di 3-5 m dal p.c., sotto i quali è presente un corpo sabbioso di spessore indicativo pari a 13 m, il quale risulta a tetto di sedimenti argilloso-limosi-torbosi che in alcune aree costituiscono l'intera sequenza stratigrafica raggiungendo i 30 m.

3.3.2 Caratteristiche pedologiche dell'area di intervento

L'analisi pedologica dell'area di studio è stata effettuata ricorrendo alla mappatura effettuata dalla Regione Emilia Romagna, la quale ha messo a disposizione una cartografia dettagliata. Nella Figura 3-12 viene riportato un estratto della stessa, mentre di seguito sono descritti le classi pedologiche affioranti nell'area di intervento, tra cui:

- Unità Argine Agosta-AGO1 (codice identificativo 7253)

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

- Unità Burano/Mottalunga-BUR1/MOT1 (Codice identificativo 8312)
- Unità Massa Fiscaglia-MSF1 (codice identificativo 8193)

Unità Argine Agosta-AGO1

Tali suoli, ubicati nella pianura deltizia esterna del Po, in prossimità dei depositi di fronte deltizio e ricoperti da depositi di palude di recentissima bonifica, occupano la maggior parte dell'area di intervento e risultano essere composti da materiale organico umificato.

Queste terre si trovano a quote inferiori rispetto al livello del mare, tipicamente comprese tra -2 e -4 m s.l.m., e con valori di pendenza inferiori allo 0.05%. Tali zone, che fino ad alcuni decenni fa, erano occupate da acque paludose perenni, attualmente risultano prosciugate in seguito ad opere di bonifica, avvenuta a mezzo del rapido emungimento delle acque mediante pompe idrovore, tuttora impiegate allo scopo di conservare un sufficiente franco di coltivazione.

Ne consegue che tale unità comprende pertanto suoli molto profondi ed estremamente salini, moderatamente calcarei, alcalini e organici nella parte superiore mentre non calcarei, fortemente o moderatamente acidi, a tessitura franca argillosa limosa o franco limosa in quella inferiore. Il substrato è costituito da sedimenti a tessitura grossolana.

L'uso del suolo prevalente è a seminativi nudi, colture orticole di pieno campo, prati avvicendati; poche sono le colture che si adattano a questo particolare ambiente pedoclimatico: seminativi, (frumento, soia, mais), melone, cocomeri. Le colture arboree e la vite sono molto sfavorite per l'elevata salinità, la bassa disponibilità di ossigeno e, in grado minore, per la profondità utile per le radici e la tessitura. Una ulteriore limitazione è data dalla presenza di orizzonti torbosi.

Unità Burano/Mottalunga-BUR1/MOT1

I suoli appartenenti all'unità di BURANO risultano ubicati nella piana deltizia del fiume Po, in posizione di interduna di antichi apparati dunali. Tali apparati, ormai completamente spianati e posti a diversi chilometri di distanza dall'attuale linea di costa, sino a qualche decennio fa emergevano come rilievi isolati dal complesso di valli salmastre del delta, successivamente prosciugate per bonifica. In queste terre la pendenza è sempre inferiore allo 0,1%.

I suoli Burano sono molto profondi, a tessitura sabbiosa franca o sabbiosa, da non calcarei a moderatamente calcarei, da neutri a moderatamente alcalini e moderatamente salini. Il substrato è costituito da sedimenti marini calcarei, a tessitura grossolana.

I suoli MOTTALUNGA rispetto all'unità BURANA differiscono solo nella composizione geochimica in particolar modo risultano essere non calcarei o molto scarsamente calcarei, a tessitura da grossolana a media, debolmente acidi o debolmente alcalini, e molto ricchi di materiali organici nella parte superiore, a tessitura grossolana e fortemente acidi in quella inferiore. Il substrato è costituito da sedimenti a tessitura grossolana.

L'uso agricolo del suolo è in prevalenza a seminativo semplice o colture orticole in pieno campo. Le poche colture che si adattano a questo ambiente, così come i fattori che sfavoriscono l'insediamento della vite e delle colture arboree sono i medesimi dei suoli Argine Agosta. La scarsità di barriere frangivento, costituite da vegetazione spontanea o da pioppeti artificiali, fa sì che il vento provochi vere e proprie tempeste di sabbia che viene sollevata dalle aree limitrofe a tessitura grossolana e colpisce violentemente e per

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

lungo tempo le colture; dopo l'emergenza a volte le piantine vengono completamente consumate e può essere necessario procedere a risemine.

Unità Massa Fiscaglia-MSF1

I suoli MASSA FISCAGLIA sono ubicati in aree di transizione tra la piana deltizia inferiore e la piana deltizia superiore abbandonata dal Po in corrispondenza dei canali distributori, che separano aree morfologicamente più depresse. Sporadicamente si trovano ai margini di paleoalvei in aree costiere. Si trovano a quote topografiche comprese fra 1 e -1 m rispetto al livello del mare. In queste terre la pendenza è generalmente compresa tra 0.05 e 0.2%.

Tali suoli a composizione prettamente limoso argillosa sono molto profondi e moderatamente alcalini, moderatamente o molto calcarei nella parte superiore e molto calcarei in quella inferiore. Il substrato è costituito da alluvioni a tessitura da media a moderatamente fine. L'uso del suolo è a seminativi, orticole e risaie.

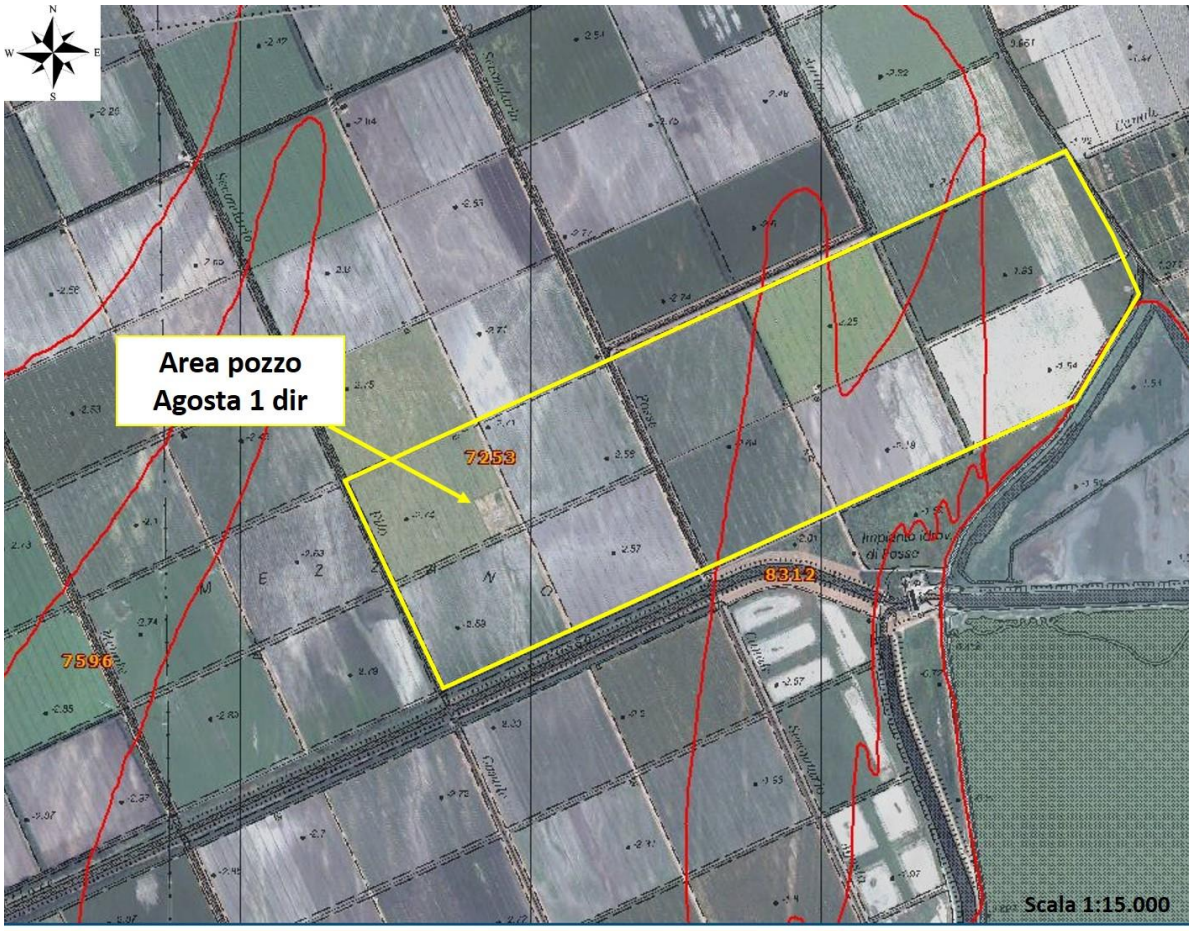


Figura 3-12 Estratto tratto dalla Carta Pedologica della Regione Emilia Romagna (Dettaglio pozzo Agosta 1 dir)

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

3.3.3 Uso del suolo

La classificazione dell'uso del suolo dell'area di studio è stata effettuata ricorrendo alle mappature effettuate dalla Regione Emilia Romagna. Nella **Figura 3-13** viene riportata un estratto (Tavola 5) inerente la mappa dell'uso del suolo all'interno dell'area di intervento.

Nella Figura 3-12 viene riportato un estratto (Tavola 5) inerente alla Carta uso del suolo, mentre qui di seguito sono descritte le principali classi di uso presenti all'interno dell'area di intervento tra cui:

- *Reti ed aree per la distribuzione idrica (Ri) (codice di riferimento 1.2.2.6)*, sono compresi gli impianti di captazione, potabilizzazione, i serbatoi, le stazioni di pompaggio e gli impianti idrovori di sollevamento e fanno parte più ingenerale delle reti ed aree infrastrutturali stradali e ferroviarie e spazi accessori, aree per grandi impianti di smistamento merci, reti ed aree per la distribuzione idrica e la produzione e il trasporto.
- *2.1.2.1 Seminativi semplici (Se) e 2.1.2.2 Vivai (Sv),* fanno parte tutti quei suoli utilizzati per colture irrigate periodicamente o sporadicamente, in genere grazie a infrastrutture permanenti.
- *4.2.1.1 Zone umide salmastre (Up),* aree che comprendono territori non boscati saturi parzialmente, temporaneamente o in permanenza da acqua salata o salmastra; in questo caso le zone comprendono valli permanentemente ricoperte da acque salmastre.
- *5.1.1.4 Canali e idrovie (Ac)* Comprendono tutte quelle aree occupate da corsi d'acqua artificiali; in genere si è considerato l'alveo di piena ordinaria, compresi gli argini (larghezza minima considerata 25m).

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Figura 3-13 Estratto tratto dalla Carta dei Suoli della Regione Emilia Romagna (Dettaglio pozzo Agosta 1 dir)

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

4 CARATTERIZZAZIONE IDROGRAFICA E IDROGEOLOGICA

4.1 IDROGRAFIA

Da un punto di vista idrografico il territorio provinciale di Ferrara ricade all'interno del Bacino idrografico Burana – Volano; esso è costituito dal territorio le cui acque trovano generalmente recapito a mare nel tratto costiero compreso fra la foce del Po di Goro e la foce del Reno (escluse dette foci). È in gran parte coincidente con il territorio provinciale di Ferrara, ma include anche alcune aree (adiacenti al Reno) che ricadono nelle province di Ravenna e Bologna e, a monte, di Modena e Mantova ("Piano di Tutela delle Acque della Provincia di Ferrara", Provincia di Ferrara 2010) (Figura 4-1).

L'estensione totale del bacino è di 324.000 ha, tutti in pianura; di questi, oltre 130.000 ha, sono situati a quota inferiore al livello del mare; le pendenze sono generalmente minime spesso inferiori allo 0,05 per mille.

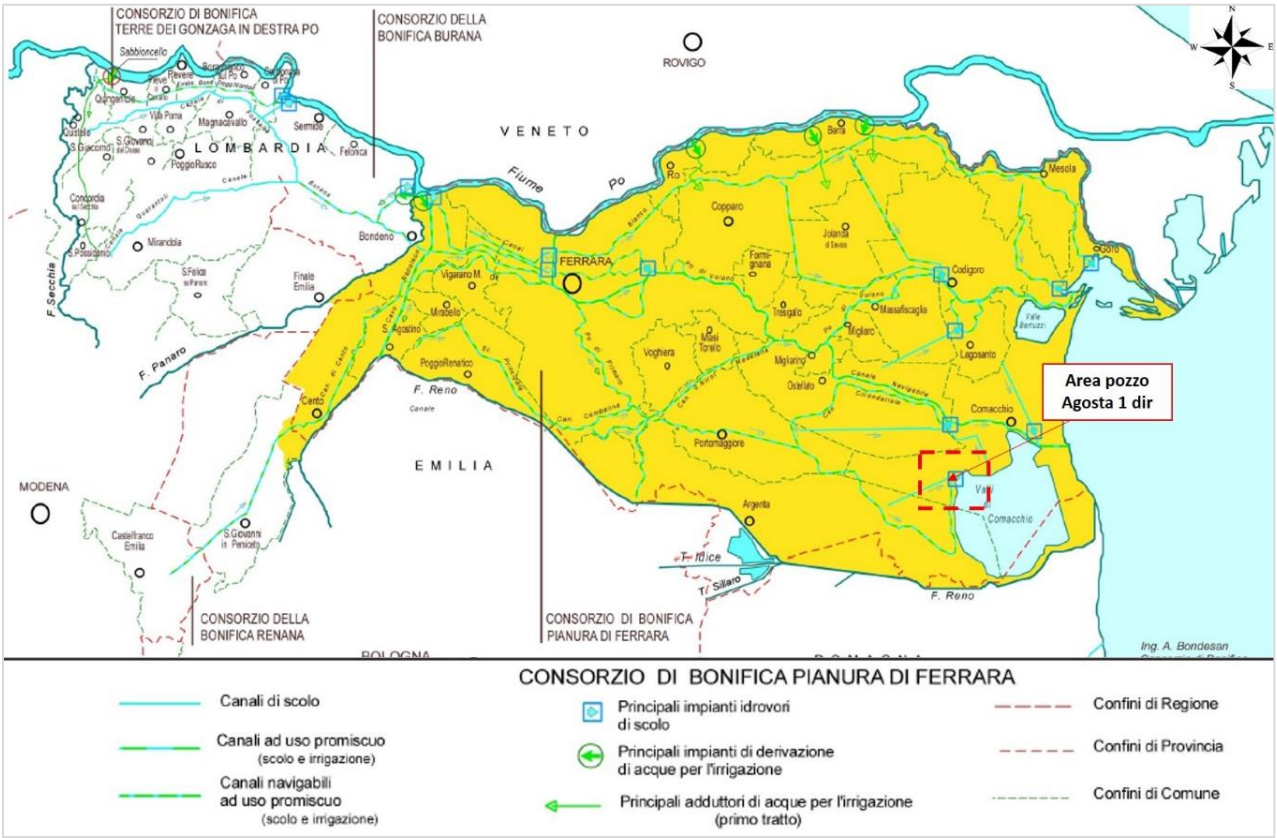


Figura 4-1 Delimitazione del Bacino Idrografico di Burana – Volano, (in giallo la parte inerente il Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara)

Va premesso che il concetto di bacino idrografico in un territorio di pianura è convenzionale. E' in effetti difficile, in tali condizioni, tracciare dei precisi spartiacque, anche in considerazione del fatto che l'assetto idraulico è strettamente controllato da canali artificiali e chiaviche, e con particolari manovre, è possibile deviare le acque di scolo in territori adiacenti. Un bacino idrografico in pianura viene perciò generalmente definito con riferimento al sistema di convogliamento delle acque di scolo in condizioni ordinarie, ossia di normale piovosità e con la sistemazione più frequente delle chiaviche.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

I principali canali preposti a tale recapito a mare sono, da Nord a Sud, il Canal Bianco (che sbocca nella Sacca di Goro), il sistema Po di Volano-Canale Navigabile (il primo in Sacca di Goro e il secondo direttamente in mare) e il Logonovo (in mare). Sempre fra la foce del Po di Goro e la foce del Reno riversano acque in mare anche l'Impianto Idrovoro Bonello (in Sacca di Goro), l'Impianto Idrovoro Giralda (in Sacca di Goro), la vecchia foce del Po di Volano (che consente rapporti idraulici tra Sacca di Goro, Valle Bertuzzi e Lago delle Nazioni) e il Canale Gobbino (che - assieme al Navigabile e al Logonovo - mette in comunicazione con il mare le Valli di Comacchio).

Da un punto di vista idraulico il bacino idrografico di Burano-Po di Volano può essere suddiviso in tre sistemi principali:

- Sistema delle acque esterne, composto dai cinque grandi ambienti di contorno dell'intero bacino:
    - Fiume Po Grande –Po di Goro (a Nord);
    - La sacca di Goro;
    - Fiume Panaro, fiume Secchia (a Ovest);
    - Fiume Reno (a Sud) e Cavo Napoleonico;
    - Mare Adriatico.
- Sistema delle acque interne composto dal reticolo principale del bacino (la cui gestione è di competenza in parte del Servizio Tecnico di Bacino ed in parte dei Consorzi di Bonifica) comprende:
    - Il Canale Burana e il suo prolungamento oltre il Panaro, chiamato Canale Emissario di Burana;
    - Il Canale Pilastresi, tra Bondeno e Stellata, che in fase di scolo può recapitare parte delle acque del Canale Burana al Po, tramite l'Idrovora Pilastresi;
    - Il Canale Boicelli, che in condizioni ordinarie scola da Nord a Sud ed è tributario del Po di Volano;
    - Il Po di Volano, che per la funzione scolante può esser considerato suddiviso in tre tronchi: quello tra Ferrara e Migliarino (località Fiscaglia), con flusso da Ovest a Est; quello tra Migliarino e la Chiusa di Tieni, che attualmente, in condizioni di scolo ordinarie scorre prevalentemente da Est a Ovest; quello a valle della Chiusa di Tieni, che scorre da Ovest a Est e sbocca nella Sacca di Goro;
    - Il Canale Navigabile, che scorre da Ovest a Est, tra Migliarino e il mare, convogliando soprattutto le acque dei primi due tronchi del Po di Volano
    - Il Canale Fosse-Foce, che avvia al mare le acque di aree poste a Sud-Ovest delle Valli di Comacchio
    - il Canale Logonovo che recapita in mare le acque del precedente Canale Fosse Foce ed agevola, in casi di piena, il deflusso delle acque del Canale Navigabile;
    - il Canale Gobbino, che mette in comunicazione diretta le Valli di Comacchio e le Vene di Bellocchio col mare.
- Sistema delle acque interne rappresentato dal reticolo idrografico di bonifica (di competenza dei Consorzi di Bonifica), costituito dalla restante parte dei canali

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

interni preposti sia allo scolo che alla irrigazione, in prevalenza connessi con il sistema del reticolo principale del bacino.

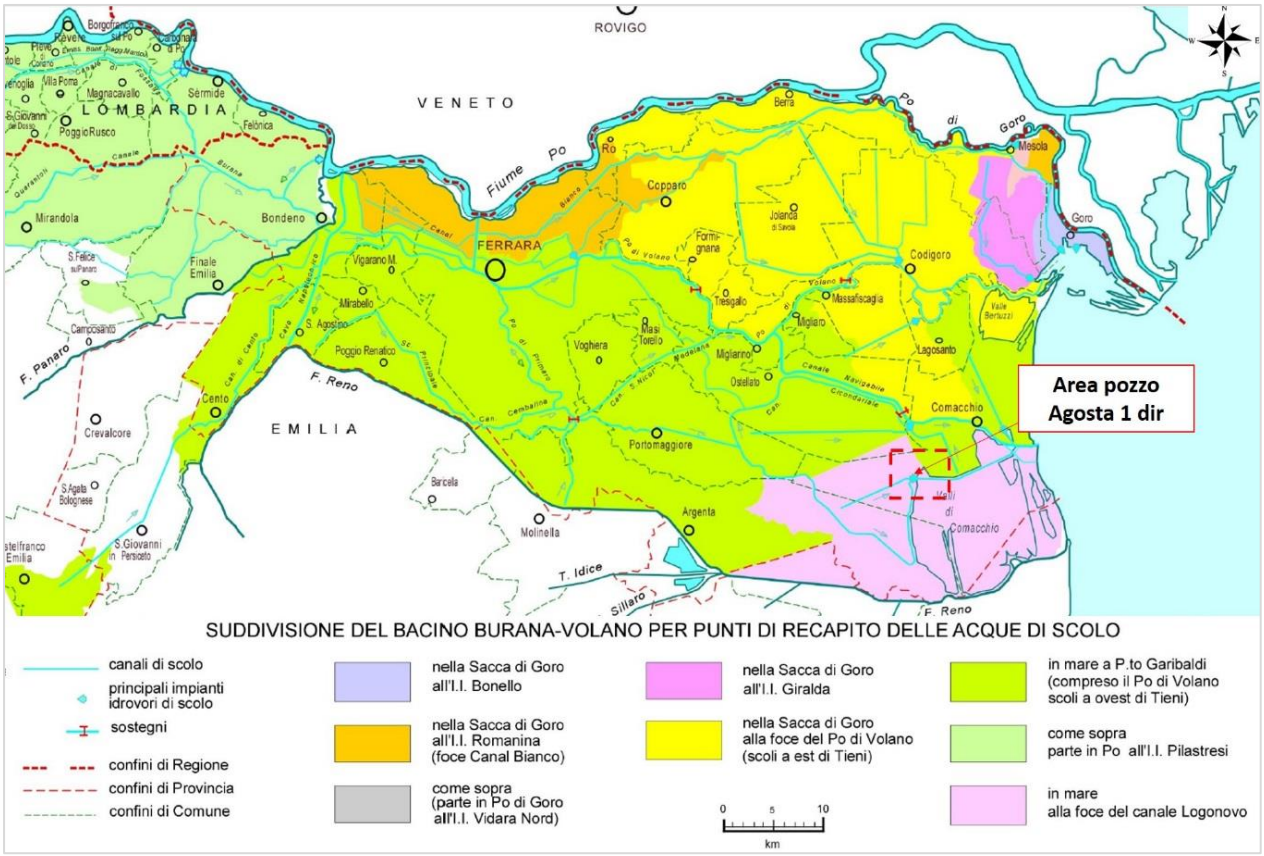


Figura 4-2 Delimitazione del Bacino Idrografico di Burana – Volano, (in giallo la parte inerente al Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara)

4.2 IDROGEOLOGIA REGIONALE

Gli acquiferi della pianura emiliano – romagnola sono costituiti principalmente dai depositi di origine alluvionale presenti nella porzione più superficiale della pianura, per uno spessore di circa 400-500 m e, in minima parte, da depositi marino marginali.

La distribuzione di questi corpi sedimentari nel sottosuolo (Figura 4-3) varia attraversando tutta la pianura, ovvero dal margine appenninico, che separa gli acquiferi montani da quelli di pianura, al Fiume Po; si possono infatti riscontrare: le conoidi alluvionali, la pianura alluvionale appenninica e la pianura alluvionale e deltizia del Po.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

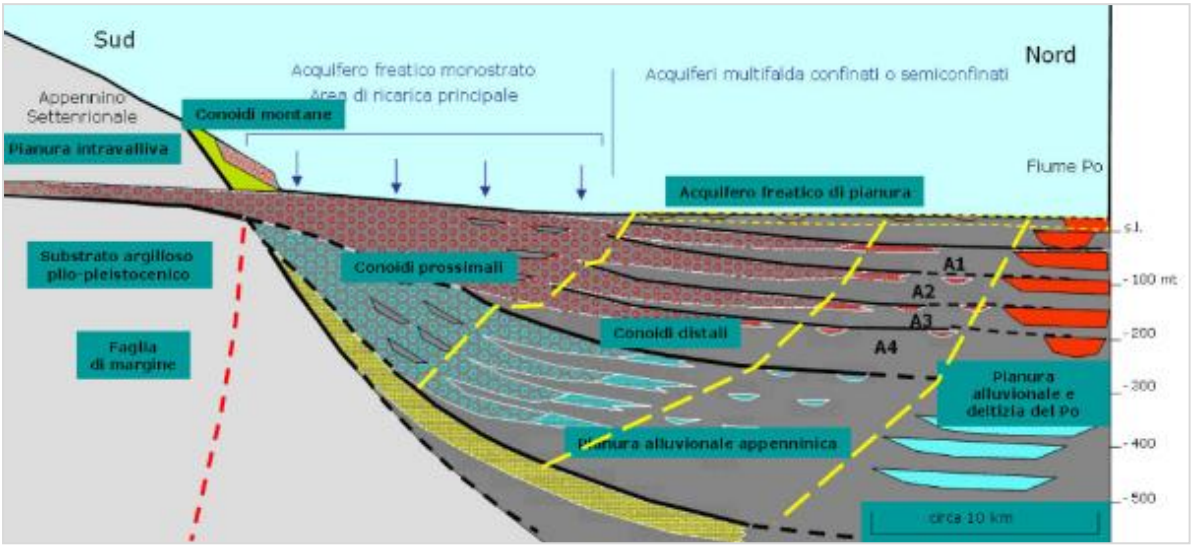


Figura 4-3 Schema della distribuzione dei corpi sedimentari nel sottosuolo (Fonte: Regione Emilia Romagna)

Le conoidi alluvionali sono formate dai sedimenti che i fiumi depositano all'uscita dalla valle, dove il corso d'acqua non è più confinato lateralmente e vi è una brusca diminuzione della pendenza topografica. Nella porzione più vicina al margine (conoidi prossimali), allo sbocco del fiume nella pianura, prevalgono le ghiaie grossolane e frequentemente affioranti, che proseguono nel sottosuolo con spessori anche di alcune centinaia di metri, mentre i depositi fini sono rari e discontinui. Procedendo verso la pianura aumenta invece la presenza di depositi fini che si alternano a quelli ghiaiosi (qui sepolti) in corpi tabulari molto estesi (conoidi distali).

Dal punto di vista idrogeologico le conoidi alluvionali, con i loro depositi molto permeabili e molto spessi, sono i principali acquiferi della pianura emiliano – romagnola. In particolare le conoidi prossimali sono sede di un esteso acquifero freatico ricaricato direttamente dalle acque superficiali dei fiumi e dalle piogge, mentre le conoidi distali costituiscono un complesso sistema di acquiferi multistrato con falde confinate e semiconfinate.

La pianura alluvionale appenninica è caratterizzata da una pendenza topografica inferiore ed è formata dai sedimenti fini trasportati dai fiumi appenninici a distanze maggiori, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi, argille e sabbie limose. Essa inizia laddove i corpi ghiaiosi si chiudono e passano lateralmente a sabbie, presenti come singoli corpi nastriformi di pochi metri di spessore, che rappresentano i depositi di riempimento di canale e di argine prossimale. Talvolta si ritrovano degli orizzonti argillosi molto ricchi di sostanza organica che testimoniano il succedersi degli eventi di trasgressione marina che hanno interessato la zona costiera dell'Emilia-Romagna durante il Pleistocene e che costituiscono dei veri e propri livelli guida.

Dal punto di vista idrogeologico i rari e discontinui depositi sabbiosi della pianura alluvionale appenninica, costituiscono degli acquiferi di scarso interesse, anche perché la loro ricarica è decisamente scarsa e deriva unicamente dall'acqua che, infiltratasi nelle zone di ricarica delle conoidi, riesce molto lentamente a fluire sino alla pianura.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Procedendo verso Nord si passa alla pianura alluvionale e deltizia del Fiume Po, costituita dall'alternanza di corpi sabbiosi molto estesi e sedimenti fini. Le sabbie derivano dalla sedimentazione del Fiume Po e sono presenti in strati amalgamati tra loro a formare livelli spessi anche alcune decine di metri ed estesi per svariati chilometri. Nella parte occidentale della Regione questi depositi hanno sempre un'origine alluvionale, mentre verso Est rappresentano i diversi apparati deltizi che il Po ha sviluppato nel corso del Pleistocene. I sedimenti fini che si alternano a questi strati sabbiosi sono formati da limi più o meno argillosi, argille, sabbie limose e più raramente sabbie. Anche nella pianura alluvionale del Po sono presenti dei depositi argillosi ricchi in sostanza organica che fungono da livelli guida.

Dal punto di vista idrogeologico i depositi della pianura alluvionale e deltizia del Po costituiscono degli acquiferi confinati molto permeabili e molto estesi e dunque molto importanti. Il più superficiale di questi è in contatto diretto col fiume, da cui viene ricaricato, mentre quelli più profondi ricevono una ricarica remota che viene in parte dallo stesso Po (da zone esterne alla Regione Emilia-Romagna) e in parte dalle zone di ricarica appenniniche ed alpine, poste rispettivamente molto più a Sud e a Nord.

Al di sopra dei depositi descritti, fatto salvo per le conoidi prossimali dove le ghiaie sono affioranti, si trova l'acquifero freatico di pianura, un sottile livello di sedimenti prevalentemente fini che prosegue verso Nord su tutta la pianura. Si tratta dei depositi di canale fluviale, argine e pianura inondabile in diretto contatto con i corsi d'acqua superficiali e con gli ecosistemi che da esse dipendono, oltre che con tutte le attività antropiche. Data la litologia prevalentemente fine e lo spessore modesto (nell'ordine dei 10 m), L'acquifero freatico di pianura riveste un ruolo molto marginale per quanto concerne la gestione della risorsa a scala regionale. E' invece molto sfruttato nei contesti rurali, dove numerosi pozzi a camicia lo sfruttano per scopi prevalentemente domestici.

Tra gli acquiferi di pianura e quelli di montagna, si trova la zona del margine appenninico, formato da depositi ghiaiosi coperti da sedimenti fini pedogenizzati (conoidi montane) che, in una breve distanza verso la pianura, passano da spessori sottili a spessori anche molto considerevoli a formare le conoidi alluvionali precedentemente descritte. Al di sotto di questi depositi ghiaiosi si trovano le sabbie costiere attribuibili all'ultimo episodio della sedimentazione marina nell'Appennino e che proseguono fino alle porzioni più distali della pianura (Sabbie Gialle).

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia – Romagna ha proposto nel 1998 una nuova stratigrafia valida a livello di bacino per i depositi alluvionali e marino marginali presenti nelle prime centinaia di metri del sottosuolo (Figura 4-4).

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

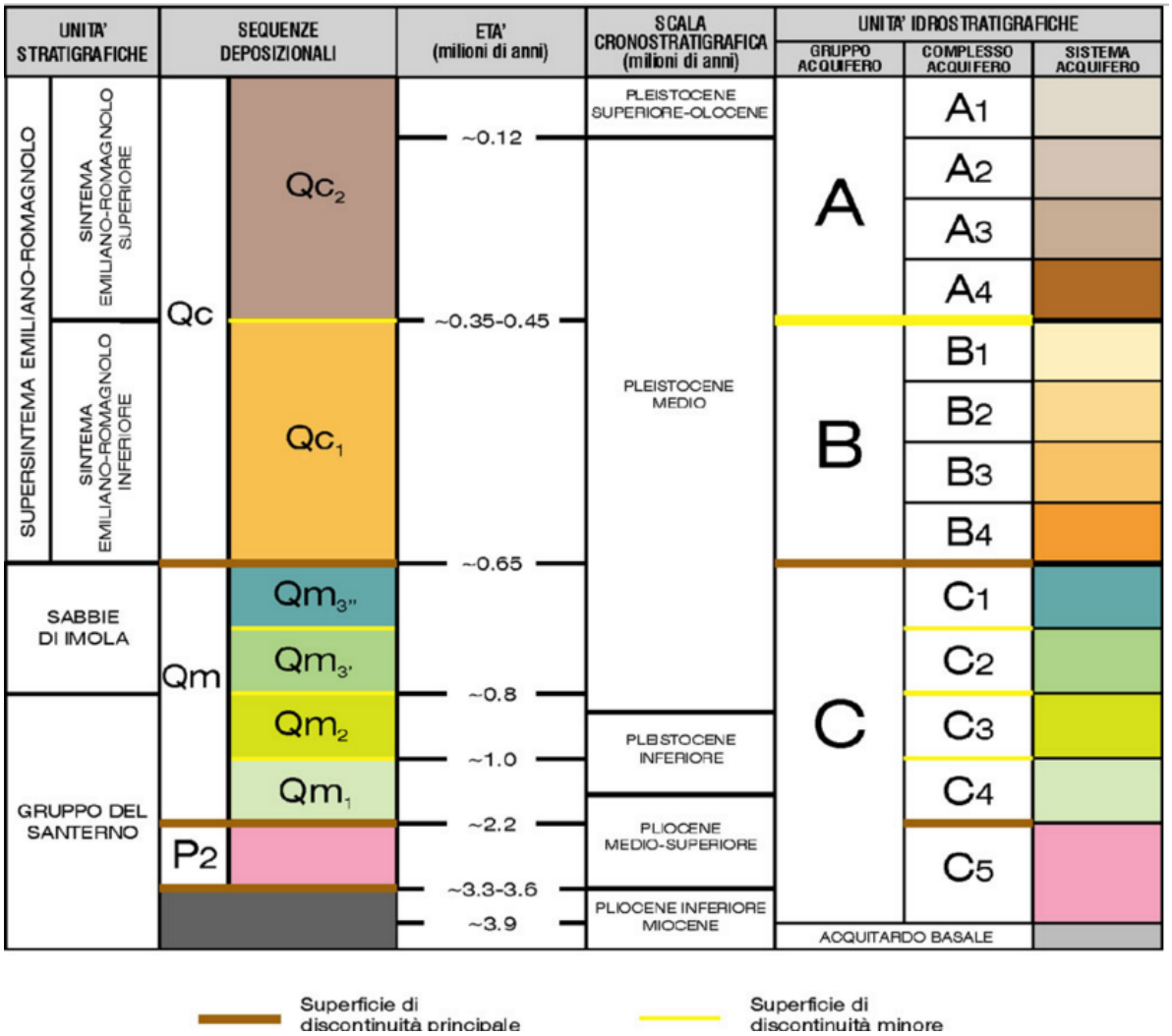


Figura 4-4 Schema stratigrafico dei depositi alluvionali e marini presenti nella Pianura Emiliana

I depositi della pianura sono stati suddivisi in tre nuove unità stratigrafiche, denominate Gruppi Acquiferi A, B e C che presentano le seguenti caratteristiche:

- Il Gruppo Acquifero A è il più recente ed ha un'età che va dall'Attuale sino a 350.000 – 450.000 anni;
- Il Gruppo Acquifero B, intermedio, va da 350.000 – 450.000 anni sino a 650.000 circa;
- Il Gruppo Acquifero C è il più vecchio e va da 650.000 sino a oltre 3 milioni di anni.
- Il Gruppo Acquifero A ed il Gruppo Acquifero B sono costituiti principalmente da depositi alluvionali ed in particolare dalle ghiaie delle conoidi alluvionali, dai depositi fini di piana alluvionale e dalle sabbie della piana del Fiume Po;
- Il gruppo acquifero C è formato principalmente da depositi costieri e marino marginali ed è costituito principalmente da pacchi di sabbie alternati a sedimenti più fini. In prossimità dei principali sbocchi vallivi il gruppo acquifero C contiene

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

anche delle ghiaie intercalate alle sabbie, che costituiscono i delta conoide dei fiumi appenninici durante il Pleistocene inferiore e medio.

Esiste una corrispondenza tra i Gruppi Acquiferi (definiti come Unità Idrostratigrafiche) e le Unità Stratigrafiche utilizzate nella Carta Geologica d'Italia. Nello specifico:

- Il Gruppo Acquifero A corrisponde al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES).
- Il Gruppo acquifero B al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI).
- Il Gruppo Acquifero C a diverse unità affioranti nell'Appennino, la più recente delle quali è la Formazione delle Sabbie Gialle di Imola (IMO).

L'area di studio ricade all'interno del Gruppo Acquifero di tipo A. La Figura 4-5 rappresenta attraverso fasce di colore a diversa intensità, lo spessore cumulativo dei depositi porosi-permeabili, ovvero gli acquiferi utili, presenti all'interno del Gruppo Acquifero "A".

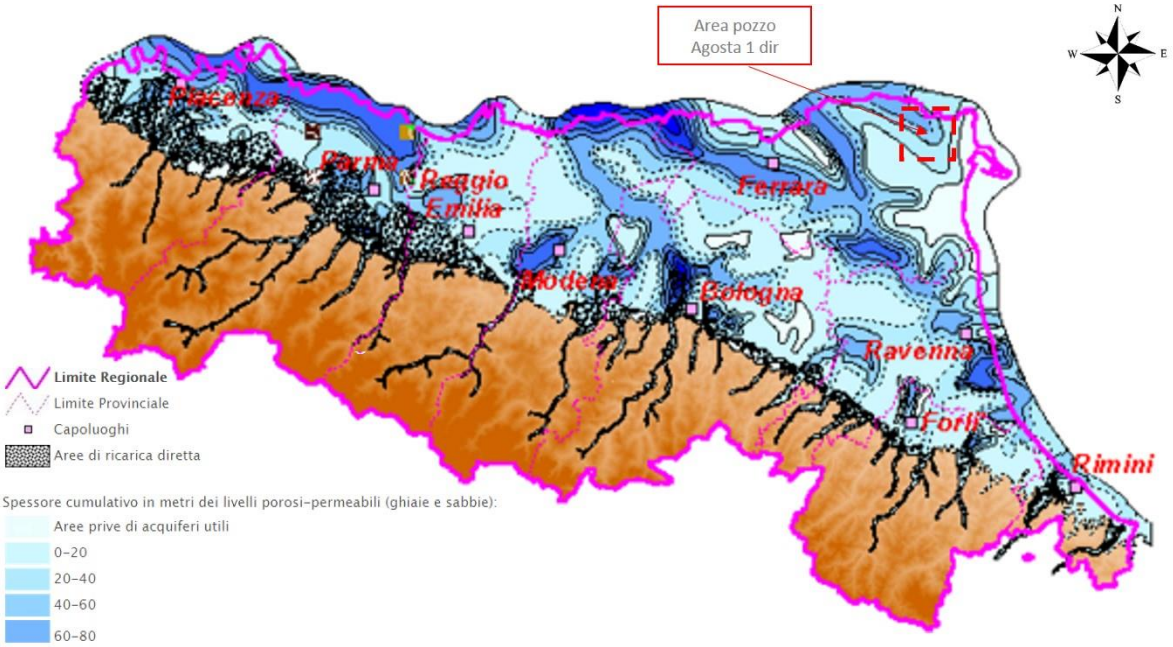


Figura 4-5 Depositi poroso permeabili del Gruppo acquifero "A" (Fonte: Regione Emilia Romagna – Assessorato all'Ambiente, ripreso dal documento "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna", pubblicato dalla Regione Emilia-Romagna in collaborazione ad ENIAGIP nel 1998)

Il settore interessato dal progetto di messa in produzione del pozzo Agosta 1 dir è caratterizzato dalla presenza di un acquifero superficiale a cui segue in profondità un acquifero multistrato in pressione. Quest'ultimo, appartenente al sistema acquifero della pianura Padana, si presenta come un sistema multistrato formato dai complessi delle conoidi appenniniche ed alpine e dai complessi della media e bassa pianura. Questa struttura è confinata a Nord, Sud ed Ovest dai rilievi montuosi delle Alpi e degli Appennini mentre ad Est dall'Adriatico.

Una zona principale di alto si osserva lungo l'allineamento Comacchio–Occhiobello, avente la direzione delle principali strutture appenniniche e due zone di culmine dove

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

l'interfaccia acqua dolce acqua salata coincide praticamente con il livello del terreno. A Nord-Est ed a Sud-Ovest di tale alto si trovano due fosse in cui il basamento si approfondisce fino a 200 m. Ancora più a Nord-Est il basamento è nuovamente interrotto e si trova una terza area in cui l'interfaccia coincide con il terreno.

Per quello che riguarda il gruppo A gli spessori permeabili maggiori sono concentrati nella zona a Nord-Ovest di Bondeno con oltre 140 m, altre aree significative sono poste tra Bondeno e Ferrara (fino a 80 m) e tra Copparo e Migliarino (80 m).

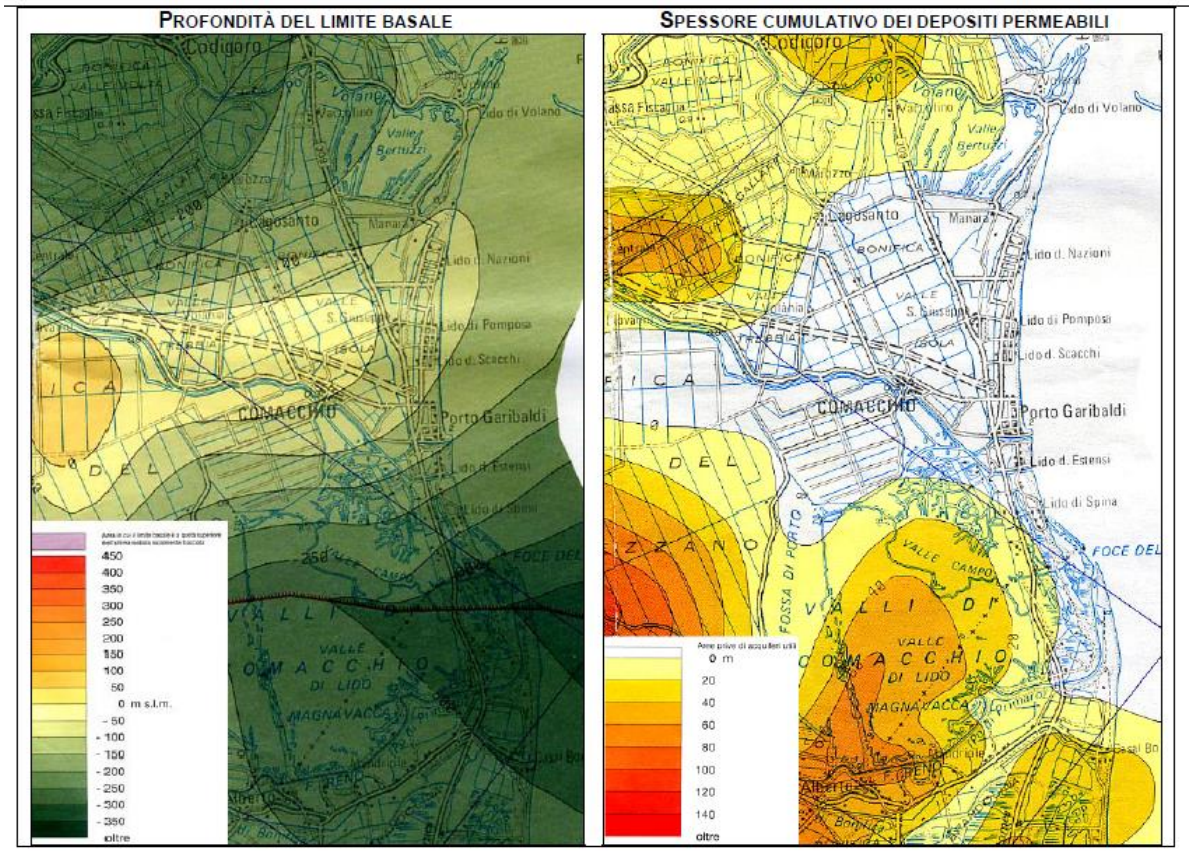


Figura 4-6. Gruppo acquifero A, profondità del limite basale e spessore (RER, eni & Agip, 1998)

Nell'area più orientale del comune di Goro e nel comune di Comacchio (bonifica Valle del Mezzano) la base dell'acquifero varia da 0 m a 50 m dal p.c.; scende a -100 m nell'abitato di Mesola, -150 m nel Bosco della Mesola, -200 m attorno a Codigoro; a Lagosanto il limite basale è a –200 m dal p.c.; a San Giuseppe è a –100 m, come a Lido delle Nazioni. Lido di Pomposa e Lido degli Scacchi; da Porto Garibaldi a Lido di Spina il limite basale scende progressivamente da –150 m a -250 m.

Nelle Valli di Comacchio la profondità del limite basale dell'acquifero A è situato tra - 200 m e -300 m sotto il livello del mare, mentre quello dell'acquifero B si trova tra -300 m e -400 m sotto il livello del mare.

Tutta l'area costiera, a partire da Mesola e Goro, scendendo verso Codigoro, Comacchio e Lagosanto e Porto Garibaldi non presenta acquiferi utili al di sotto del Gruppo Acquifero

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

A. L'assenza dell'acquifero B è determinata dalla saturazione di acqua salata dei sedimenti porosi-permeabili. L'acquifero B presenta acque dolci solo al di sotto delle Valli Meridionali di Comacchio.

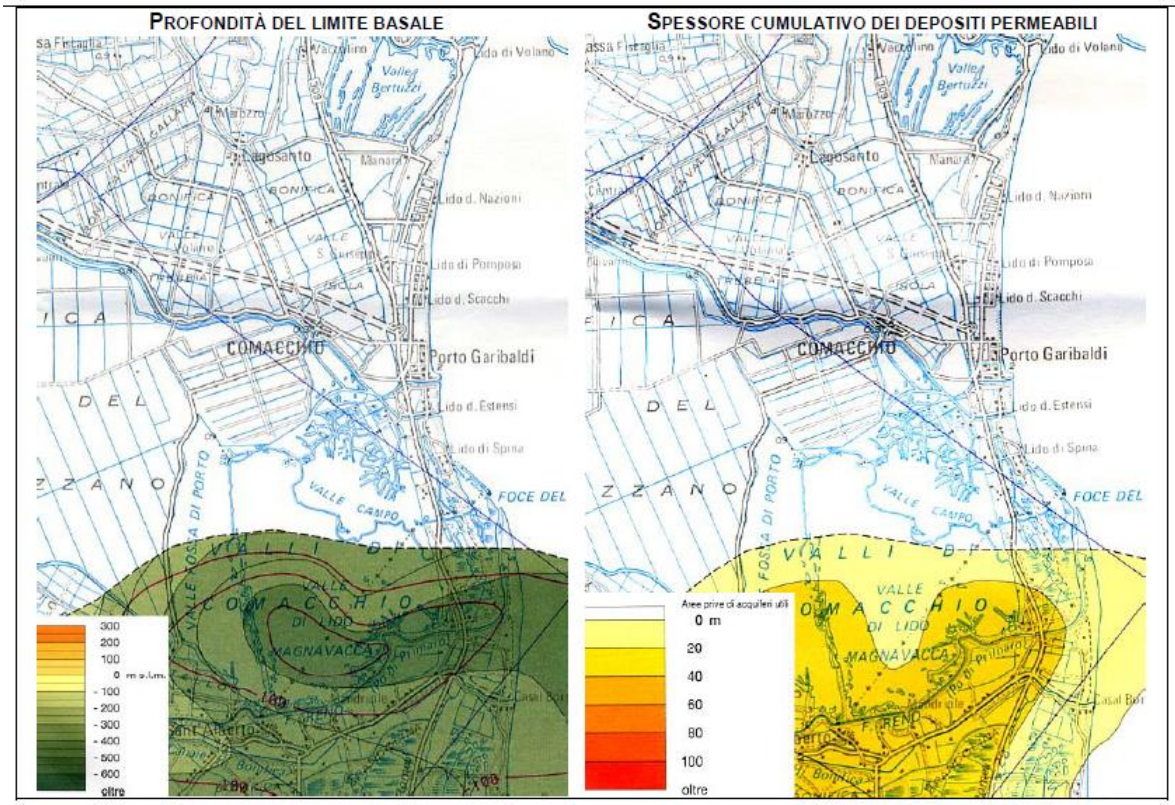


Figura 4-7. Gruppo Acquifero B, profondità del limite basale e spessore. (RER, eni &Agip, 1998)

4.2.1 Andamento piezometrico provinciale

Nel territorio provinciale di Ferrara, verso la costa, la falda superficiale è contenuta all'interno dei sedimenti grossolani principalmente sabbiosi che costituiscono il sistema di cordoni dunosi depositatisi in epoche geologicamente recenti ed il cui assetto dipende dalle oscillazioni della linea di riva avvenute negli ultimi 5.000 - 6.000 anni. Lo spessore dell'acquifero superficiale nell'area investigata risulta di circa 14-20 m e tende ad approfondirsi verso mare, in analogia con le modalità di deposizione dei corsi dunosi.

L'acquifero è arealmente esteso anche al di fuori dell'area oggetto di studio, sui lati N, S ed E (lato mare) mentre è isolato sul lato W da formazioni impermeabili o semi permeabili. Il substrato della falda acquifera freatica è costituito da una formazione impermeabile di spessore variabile. La profondità del tetto della formazione, che costituisce la base dell'acquifero freatico, varia da 5 a 25 m dal piano campagna (Figura 4-8).

La forma della superficie freatica è ondulata con culminazioni coincidenti con i cordoni di dune (aree di alimentazione) e depressioni (aree di drenaggio) corrispondenti ad azioni

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

idrauliche ed emungimenti. L'alimentazione della falda freatica dolce avviene attraverso le precipitazioni meteoriche, gli apporti di acqua dai corsi d'acqua e dal sistema dei canali consortili.

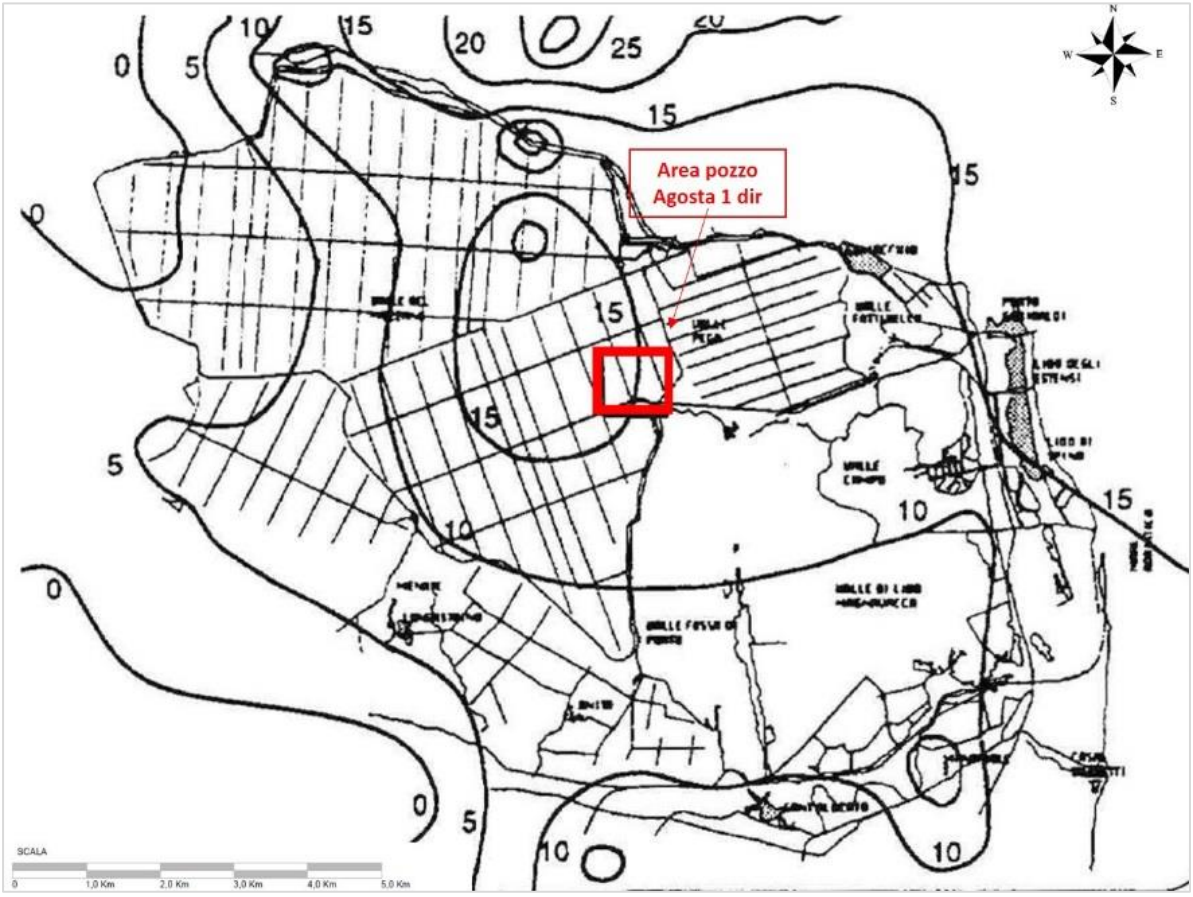


Figura 4-8. Andamento plano-altimetrico della base dell'acquifero freatico, valori espressi in metri sotto il livello del mare (Valpreda E., Valmigli L., ENEA, 1992)

L'area si trova in un settore in cui l'acquifero costiero non presenta significative coperture di origine alluvionale: la falda risulta pertanto propriamente freatica. In riferimento all'alimentazione della falda si deve prevedere una ricarica zenitale, dovuta alle precipitazioni meteoriche ed una alimentazione laterale, che avviene ad opera dei corpi idrici superficiali.

In generale l'azione di drenaggio operata dai corsi d'acqua superficiali e dai canali di bonifica impone alla falda freatica un regime artificiale. I flussi di falda nascono dai gradienti idraulici che si creano rispetto ai canali di scolo, il cui livello è controllato dagli impianti idrovori. Le direzioni di flusso pertanto sono direttamente collegate alla rete idrica dei canali di scolo, che rappresentano assi di drenaggio preferenziali della falda freatica, esercitando un'azione di richiamo.

Nel settore costiero la falda presenta flussi diretti da Est verso Ovest, che non testimoniano un'alimentazione dell'acquifero superficiale da parte del mare, bensì la

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

presenza di uno spartiacque ad orientamento Nord-Sud, immediatamente retrostante la spiaggia, ove la superficie topografica risulta più elevata per la presenza dei cordoni dunosi. Tale dorsale è più o meno continua dal Lido di Volano al Lido di Spina, salvo una soluzione di continuità in corrispondenza del Lido degli Estensi.

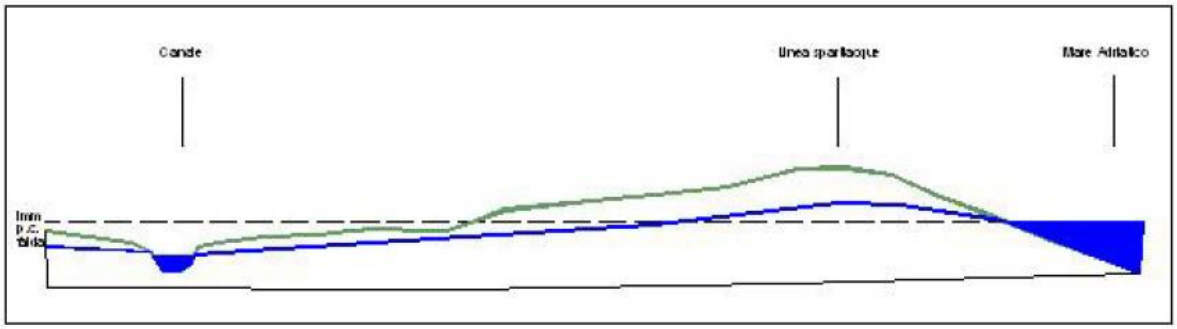


Figura 4-9 Andamento superficiale freatica (PRG del Comune di Comacchio, 1997)

A partire dal 1989 l'Amministrazione Provinciale di Ferrara ha installato sul territorio costiero ferrarese una rete di 105 piezometri di profondità variabili tra 3 e 4 m da p.c., integrati poi successivamente da altri punti d'acqua a 12 m di profondità (Figura 5.5). Attualmente esistono circa 63 punti di misura utili per il monitoraggio della falda.

Durante il periodo 1989-1999 sono state effettuate diverse campagne di misura, sia freatimetriche che idrochimiche, che rappresentano quindi una, seppur breve, serie storica inerente l'acquifero superficiale.

Dalle misure piezometriche eseguite negli anni 89'-90' si evince come i livelli freatici nelle Valli del Mezzano e Pega siano compresi entro le quote di -2 ÷ -5 m s.l.m. congruenti con la conformazione geologica del terreno e l'effetto drenante della rete di canali che recapitano alle idrovore di Fosse e di Valle Lepri; i livelli piezometrici risultano mediamente più depressi nella stagione non irrigua rispetto alla stagione irrigua.

4.2.2 Salinità delle acque

Nello specifico il settore studiato è caratterizzato dalla presenza di un acquifero superficiale a cui segue in profondità un acquifero multistrato in pressione. Quest'ultimo appartiene al sistema acquifero della pianura Padana che può essere sinteticamente considerato come un sistema multistrato formato dai complessi delle conoidi appenniniche ed alpine e dai complessi della media e bassa pianura.

Tuttavia l'interazione tra acque dolci e acque salate, soprattutto nell'area occupata dal delta del Po, in prossimità della costa adriatica, non risulta così ben definita anzi, diversi studi hanno nel tempo cercato di quantificare la salinizzazione degli acquiferi presenti (Gargini et alii, 2001; Esca et alii, 2006; Ulazzi et alii, 2007; Venturini, 2008) soprattutto lungo la costa ferrarese, concludendo che tali corpi idrici hanno mediamente una salinità elevata, sia per la loro localizzazione spesso posta sotto il livello del mare sia per la presenza di corpi idrici salmastri, in condizioni di perenne alimentazione, e che possono presentare stagionalmente una concentrazione salina assai elevata.

A conferma di tali studi il monitoraggio eseguito tra il 2009 e il 2010 dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna (*L'acquifero freatico costiero della regione Emilia-Romagna: modello geologico e stato di salinizzazione, L. Bonzi et alli")* ha

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

evidenziato la presenza di acque sotterranee ad elevata salinità (Figura 4-10, Valli di Comacchio) nei pressi dell'area pozzo Agosta (piezometro di riferimento P10 - Collettore Pega, Mezzano) (Tavola 8).

E' quindi possibile affermare che nelle zone di bonifica del basso ferrarese, in cui è ubicato il pozzo Agosta, l'attuale stato di salinizzazione non è spiegabile solamente con lo schema classico del cuneo di ingressione marina, ma deve considerare la più recente storia geologica del sottosuolo: si tratta infatti di terre sottratte al mare o di zone lagunari bonificate, dove l'irrigazione artificiale operata dall'uomo negli ultimi decenni/secoli ha permesso di sostituire lentamente e solo superficialmente le acque salate contenute naturalmente nei sedimenti con acque relativamente dolci (seppur superiori ai 2.5 mS/cm).

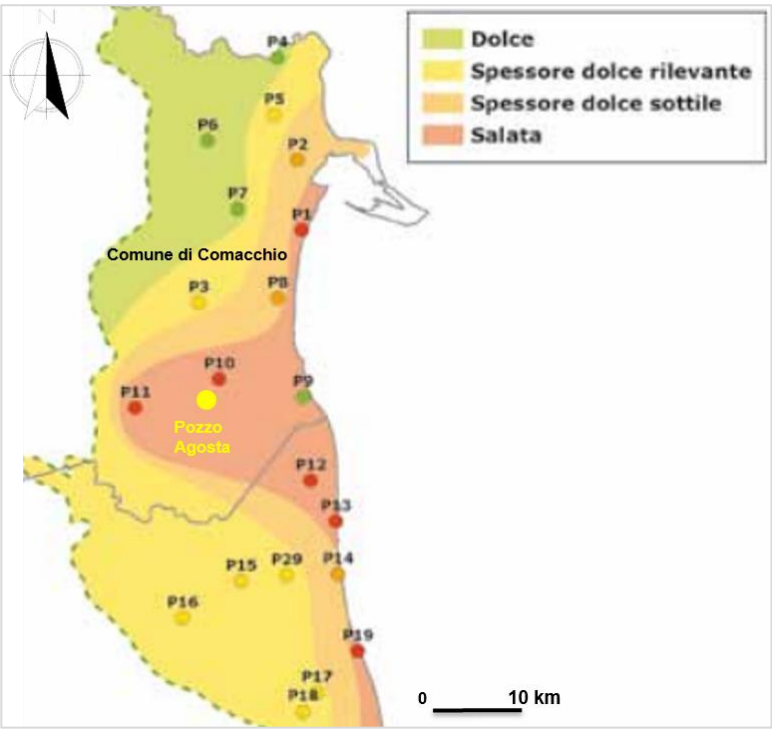


Figura 4-10. Sintesi regionale del monitoraggio intrapreso tra il 2009 e il 2010 basato sulla presenza e sullo spessore di acqua dolce al di sopra della zona di transizione acqua dolce-salata

Data la situazione idrogeologica generale dell'acquifero costiero la falda ha mediamente una salinità elevata, sia per la sua localizzazione spesso posta sotto il livello del mare sia per la presenza di corpi idrici salmastri, in condizioni di perenne alimentazione, e che possono presentare stagionalmente una concentrazione salina assai elevata. Le uniche modalità con cui la falda si alimenta di acqua dolce è tramite la ricarica zenitale e tramite l'alimentazione dai canali superficiali irrigui.

Facendo riferimento ai piezometri della rete di monitoraggio si osserva come a Lido di Volano la conducibilità elettrica specifica tenda a diminuire mediamente di circa 100 µS/cm. La distribuzione vede valori minori a Nord, presso la foce del Po di Volano e tende ad aumentare verso Sud, sino a raggiungere i 2.000 µS/cm a Sud del lido.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Verso Lido degli Scacchi e Lido di Pomposa, la conducibilità risulta piuttosto bassa, almeno rispetto alle aree limitrofe, circa 700 µS/cm come valore medio.

Anche a Porto Garibaldi si registra un aumento della conducibilità dalla costa nelle le aree interne, nel periodo monitorato, e una diminuzione invece verso costa.

A Lido degli Estensi nel complesso la conducibilità aumenta nel periodo di monitoraggio, in media di una valore di circa 160 µS/cm. L'incremento maggiore si registra nell'area vicino a Valle Campo, mentre l'incremento minore in prossimità del Canale Logonovo.

Nella porzione più meridionale dell'area investigata la conducibilità sembra rimanere sostanzialmente stazionaria o a diminuire, solo all'interno dell'abitato e non lontano dalle Vene del Bellocchio si ha un aumento del valore medio di più di 1.000 µS/cm e quindi una netta salinizzazione (Prov. Ferrara, 2001).

4.3 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA A SCALA DI INTERVENTO

4.3.1 Idrografia

L'area direttamente interessata dall'intervento (adeguamento dell'area e installazione degli impianti di trattamento gas nell'area pozzo, installazione della condotta da 4" di collegamento al collettore della società Snam Rete Gas, messa in produzione del pozzo Agosta 1 dir, futura chiusura mineraria e ripristino territoriale), ricade interamente nel Bacino di Scolo "Bonifica Mezzano Sud-Est". La Bonifica Mezzano Sud-Est si estende su circa 7400 ettari e confina a Nord con la Bonifica Mezzano Nord- Ovest, ad Ovest con la Bonifica Gramigne, a Sud con la Bonifica Umana ed a Est con la Bonifica Valle Pega e con gli specchi vallivi salmastri residui delle Valli di Comacchio.

Il funzionamento idraulico delle Valli è oggi completamente artificiale ed i collegamenti con il Mare Adriatico, assicurati da tre canali (da Nord a Sud: Canale Navigabile di Porto Garibaldi, Canale Fosse Foce – Logonovo e Canale Gobbino), sono rigorosamente funzionali alla gestione degli impianti idrici presenti.

La Bonifica del Mezzano Sud-Est è delimitata ad Ovest, Sud ed Est dal Canale Pensile Circondariale Gramigne – Fosse, ramo meridionale del Canale Circondariale di Mezzano. Il Canale Circondariale di Mezzano è di fatto un lungo canale di gronda (55 km) realizzato all'atto dell'esecuzione della bonifica delle Valli di Mezzano (Bonifica Mezzano Nord-Ovest e Bonifica Mezzano Sud-Est) che ha la funzione di accogliere e convogliare tutte le acque di scolo delle più antiche bonifiche esterne contermini che in precedenza recapitavano direttamente in Valle. I livelli idrometrici del Canale Circondariale oscillano mediamente tra quota -1,10 m s.l.m. (periodo non irriguo) e quota -0,80 m s.l.m. (periodo irriguo).

Ai due estremi del Canale Circondariale di Mezzano sono ubicati due impianti idrovori che effettuano l'ultimo sollevamento per allontanare definitivamente le acque di scolo verso il mare, ultimo recettore; in particolare:

- impianto idrovoro di Lepri Acque Alte (portata nominale massima pari a 117 m3/s) che immette le acque del tronco settentrionale – Canale Circondariale Valle Lepri – nel Canale Navigabile (Porto Garibaldi);
- impianto idrovoro di Fosse Acque Alte (portata nominale massima pari a 24 m3/s) che immette le acque del tronco meridionale – Canale Circondariale Gramigne Fosse – nel Canale Fosse Foce–Logonovo.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Il reticolo idraulico della Bonifica Mezzano Sud-Est è impostato su schemi geometrici che consentono una più razionale schematizzazione della rete e quindi un più ridotto sviluppo rispetto alle aree di bonifica più vecchia.

L'impianto idrovoro di Fosse Acque Basse (A.B.), generalmente operativo durante il periodo non irriguo (indicativamente autunno-inverno) e strutturato su tre pompe ad elica verticale aventi portata massima nominale complessiva pari a 18 m^3/s con prevalenza geodetica massima (monte-valle) pari a 5,5 m, solleva le acque del Collettore Fosse, asse portante del sistema di drenaggio della Bonifica.

L'impianto idrovoro Fosse Esterno è strutturato su due pompe aventi portata massima nominale complessiva pari a 6 m^3/s. Con riferimento al sistema di irrigazione, l'acqua che alimenta il territorio della Bonifica è derivata dal Canale Circondariale, il quale a sua volta è ricaricato grazie ad una batteria di sifoni di presa (portata totale 10 m^3/s) dal vicino Canale Navigabile "Ferrara – Porto Garibaldi".

La distribuzione irrigua avviene tramite i canali di scolo – quindi canali promiscui – i quali durante il periodo solitamente compreso tra Aprile e Settembre, vengono invasati e costantemente alimentati (sino a quote di sicurezza) in modo da consentire alle aziende agricole confinanti di prelevare i volumi d'acqua necessari per l'irrigazione di soccorso delle colture. Il contenimento dell'acqua all'interno dei canali è assicurato e gestito attraverso la regolazione di un sistema di paratoie installate sui tratti terminale dei principali canali che altrimenti confluirebbero nel collettore di raccolta Fosse e quindi all'impianto idrovoro Fosse A.B. Le principali paratoie di regolazione presenti lungo la rete dei canali del bacino Mezzano Sud Est sono controllate da sistemi di monitoraggio, telecontrollo e comando a distanza, per tutte le operazioni di apertura, chiusura, variazione delle quote d'invaso.

Scelta questa motivata dalle specifiche problematiche del territorio irriguo, quali:

- livelli idrici differenziati anche in funzione delle specifiche tipologie colturali;
- articolata ridistribuzione interna del reticolo idraulico;
- vicinanza delle valli salmastre (per isolare l'inquinamento salino del tratto orientale del Canale Circondariale è stato infatti realizzato uno sbarramento).

La piazzola del pozzo Agosta 1 dir, come visualizzato in Figura 5—13, è ubicata tra il Canale Secondario Filo, ad occidente, ed il Canale Secondario Fosse, ad oriente, tributari diretti del Collettore Fosse, ad una distanza in linea d'aria di circa 450 m dalla sponda sinistra del Collettore Fosse e di circa 1400 m dall'impianto idrovoro Fosse Acque Basse. Il tracciato di progetto della condotta di collegamento con il nodo Snam Rete Gas (SRG) attraversa invece numerosi piccoli canali di distribuzione irrigua ed i canali promiscui Secondario Fosse e Secondario Anita.

Infine, per quanto attiene al rischio idraulico, cioè al verificarsi di situazioni di sofferenza idraulica con possibile allagamento dell'area direttamente interessata dalla piazzola del pozzo, benché la rete di scolo della Bonifica sia stata oggetto, anche recentemente, di interventi finalizzati a migliorarne l'efficienza idraulica e l'area stessa, con riferimento al periodo tra l'inizio degli interventi di bonifica ed il 1992, non sia stata direttamente interessata da inondazioni; inoltre secondo quanto definito all'interno del Piano Strutturale Comunale del Comune di Comacchio (Documento preliminare del 2014, Delibere di Giunta Comunale numero 405 del 30/12/2014), l'area ricade in una zona a rischio allagamento medio basso.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Tuttavia permangono potenziali criticità essenzialmente conseguenti a:

- eventi meteorici di particolare intensità in periodo irriguo (estivo) con concomitanti condizioni di elevati livelli idrometrici nei canali adduttori/distributori e quindi ridotta, a volte praticamente nulla, capacità di invaso residua;
- mancato funzionamento degli impianti idrovori di scolo Fosse Acque Basse e Fosse Esterno per interruzione dell'alimentazione elettrica ai motori degli stessi (gli impianti non dispongono attualmente di capacità termica autonoma).

Si precisa che l'area della piazzola è rialzata rispetto al piano campagna di circa 0,70 m e la vasca di raccolta acque semioleose, prevista in progetto, è coperta e posta ad una quota di 0,70 m rispetto al piano campagna, al fine della protezione della piazzola e delle apparecchiature installate.

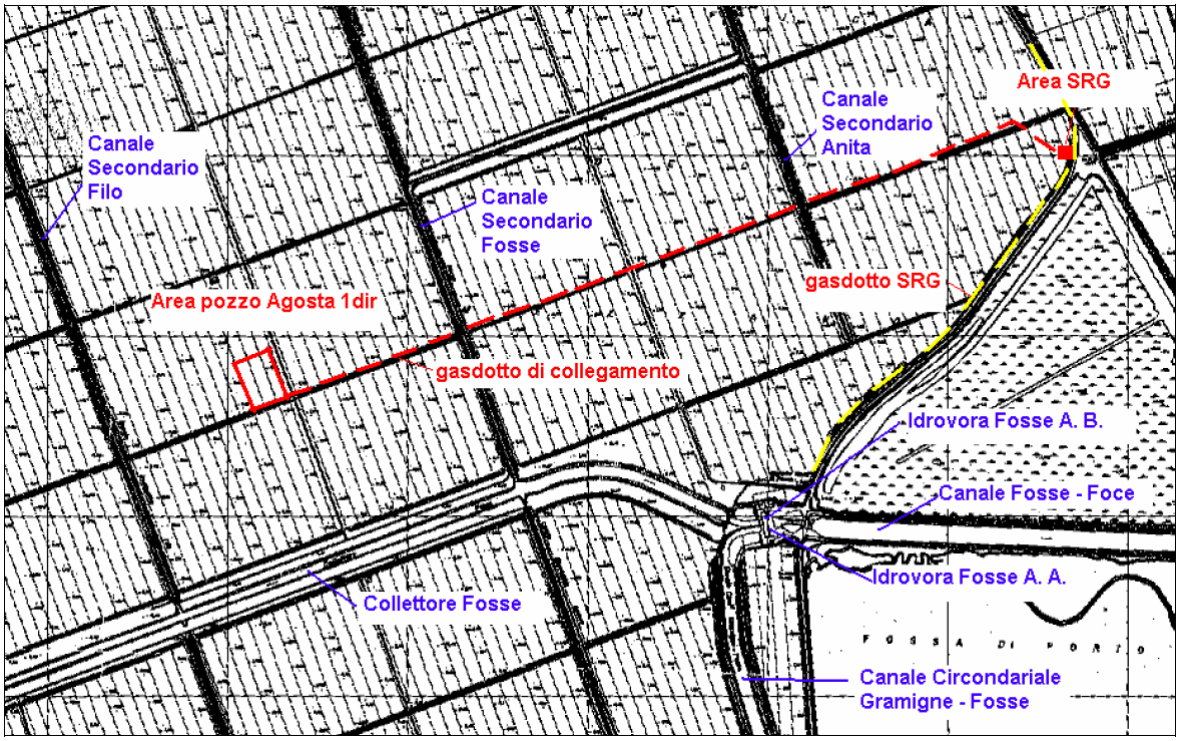


Figura 4-11. Area prossima alle infrastrutture di progetto; con linea rossa tratto punto è indicato il tracciato del gasdotto di collegamento con il nodo di consegna SRG, mentre con linea rossa a tratteggio l'esistente gasdotto SRG (base: CTR Regione Emilia-Romagna, scala 1:5.000)

4.3.2 Idrogeologia e andamento piezometrica sito specifico

Nello specifico l'area di intervento è caratterizzata dalla presenza di una falda superficiale contenuta all'interno dei sedimenti grossolani principalmente sabbiosi che costituiscono il sistema di cordoni dunosi depositatisi in epoche geologicamente recenti ed il cui assetto dipende dalle oscillazioni della linea di riva avvenute negli ultimi 5.000 - 6.000 anni. Lo spessore dell'acquifero superficiale nell'area investigata risulta di circa 14-20 m e tende ad approfondirsi verso mare, in analogia con le modalità di deposizione dei corsi dunosi.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Nella Carta Idrogeologica (Tavola 6a e 6b) redatta sulla base dei dati ottenuti della cartografia geologica del progetto Carg e dal S.I.T. della Regione Emilia Romagna, si evidenzia la presenza nell'area oggetto di studio di depositi lacustri, costituiti da alternanze di sabbie limose e argille torbose, con caratteristiche di permeabilità da medio-bassa, dove predominano le litofacies più fini, a medio-alta, dove predominano le litofacies sabbiose.

I livelli piezometrici rilevati nella campagna di indagine di Luglio 2006 sono congrui con quanto sopra indicato, in particolare i livelli di soggiacenza della falda sono contenuti tra i 0,90 e 1,5 m al di sotto del piano campagna. Il livello piezometrico è mantenuto artificialmente dagli impianti idrovori la cui attività è funzionale alla gestione della bonifica.

I dati riportati in Tabella 5—1 indicano la soggiacenza della falda rispetto al piano campagna. Il piano topografico attuale è posto ad una quota mediamente pari a 2 m sotto il livello del mare, inoltre i dati riportati in seguito devono considerare che l'escursione del livello freatico è controllata artificialmente dall'impianto idrovoro Fosse A.B., in funzione delle esigenze colturali della bonifica.

Tabella 4-1 - Valori di soggiacenza della falda freatica (Luglio 2006)

Piezometro	Soggiacenza (m)
P1	-0,91 m
P2	-0,96 m
P3	-0,70 m
P4	-1,57 m
P5	-1,10 m
P01	-0,95 m
P02	-1,04 m
P03	-1,39 m
P04	-1,20 m
P05	-1,43 m
P06	-1,04 m
P07	-1,00 m
P08	-1,12 m
P09	-1,66 m
P010	-1,10 m

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

5 AZIONE SISMICA (MODELLO SISMICO DEL SITO)

Per eseguire qualsiasi verifica sismica, la prima grandezza da determinare è il periodo di ritorno TR dell'azione sismica. Secondo le Norme Tecniche Costruttive NTC 2008, infatti, il periodo di ritorno caratterizza la pericolosità sismica di un luogo, definita come probabilità che, in un certo lasso di tempo, si verifichi nello stesso luogo un evento sismico di entità almeno pari a un valore prefissato.

Tale lasso di tempo, espresso in anni, è detto periodo di riferimento VR. La probabilità è detta probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento PVR; per calcolare l'azione sismica sono quindi necessari alcuni parametri caratteristici dell'ubicazione dell'opera o della costruzione in esame, in particolare:

- ag , accelerazione orizzontale massima del luogo (espressa in g/10, ossia in decimi dell'accelerazione di gravità);
- F0, valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (adimensionale);
- TC*, periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro delle componenti orizzontali (espresso in secondi).

La riclassificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003) e l'aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004) adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 Aprile 2006, che recepisce l'OPCM 3274/2003, ha introdotto 4 zone sismiche in funzione degli intervalli di accelerazione (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, come riportato nella seguente tabella.

Tabella 5-1 Caratteristiche delle zone sismiche (Fonte: Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003)

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

In Emilia-Romagna (si veda la figura seguente) la maggior parte dei Comuni rientrano nella classe 2 (praticamente tutta la Romagna, il settore orientale della Provincia di Bologna, il comprensorio delle ceramiche modenese-reggiano, alcuni comuni del crinale tosco-emiliano delle Province di Modena, Reggio Emilia e Parma) e nella classe 3, mentre pochi rientrano nella classe 4 (ovvero i comuni in pianura: l'estremità Nord-occidentale delle Provincia di Piacenza, alcuni comuni in prossimità del Po, nelle Province di Piacenza, Reggio Emilia e Ferrara, e la zona del delta del Po) e nessun Comune rientra in classe 1 (zona classificata ad alta sismicità).

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

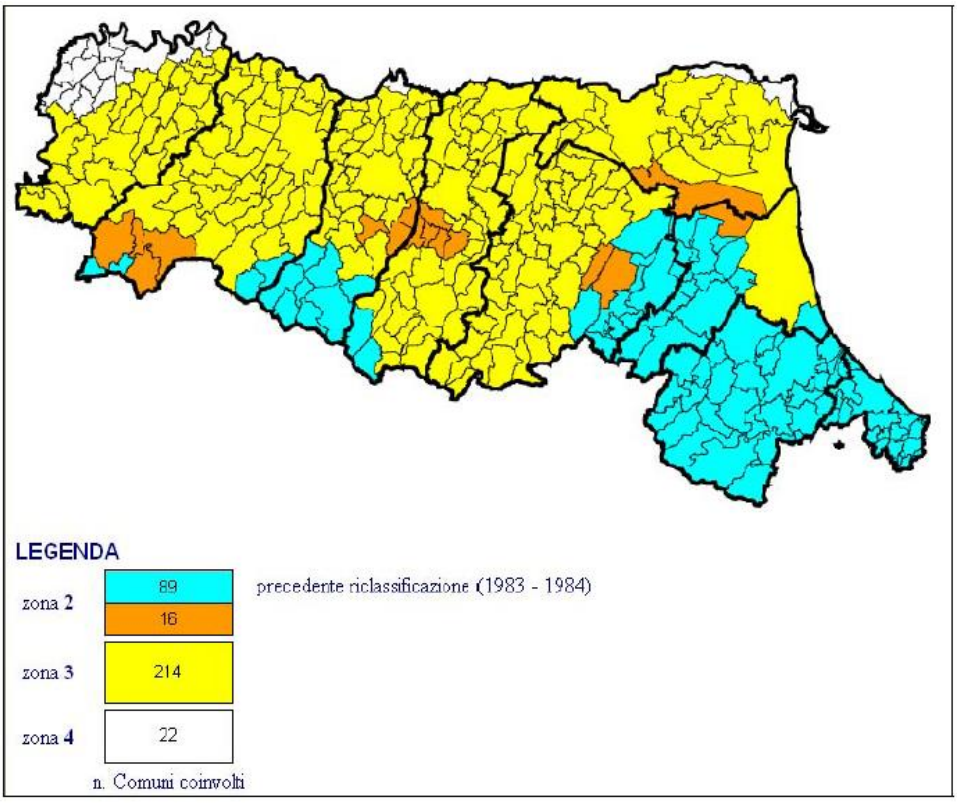


Figura 5-1 Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna

Il Comune di Comacchio, in base alla mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale (indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 1435 del 21.07.2003) rientra nella zona 3 (con valori di ag compresi fra 0,05 g e 0,15 g), definita come zona a sismicità bassa che può essere soggetta a scuotimenti modesti.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", pubblicata sulla G.U. del 08/05/2003, attua la riclassificazione sismica dell'intero territorio nazionale secondo nuovi criteri che definiscono gli indicatori da considerare e le procedure da adottare ("Criteri per l'individuazione delle zone sismiche, individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone"), di seguito esposte.

5.1 CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

La normativa sismica disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni, il suo scopo è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile.

Tali norme si applicano agli edifici, per i quali si fa riferimento alle "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici", ai ponti, per i quali si fa riferimento alle "Norme tecniche per il progetto sismico di ponti, nonché ad altri tipi di strutture per le quali non sia disponibile una norma specifica.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Secondo la classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006 (Figura 5-2) e la Carta dell'Amplificazione sismica e dei valori di Vs30 (Figura 5-3, PSC del Comune di Comacchio, 2014 – scala 1:30.000) si ipotizzata una velocità Vs30 media equivalente delle onde di taglio S nei primi 30 m a partire dalla base delle fondazioni, pari a 207 m/sec.

Tale valore corrisponde secondo la normativa D.M. 14/01/2008 ad un valore di categoria del sottosuolo (litotipo) pari a C (Tabella 5-2), che corrisponde a sua volta a valori di (Tabella 5-3):

- Amplificazione stratigrafica (Ss) compresi tra 1.00 ≤ 1.70 – 0.60
- F0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) uguale a ag/g ≤ 1.50 (F0);
- Coeffic funz categoria (Cc) pari a 1.05(TC*)-0.33

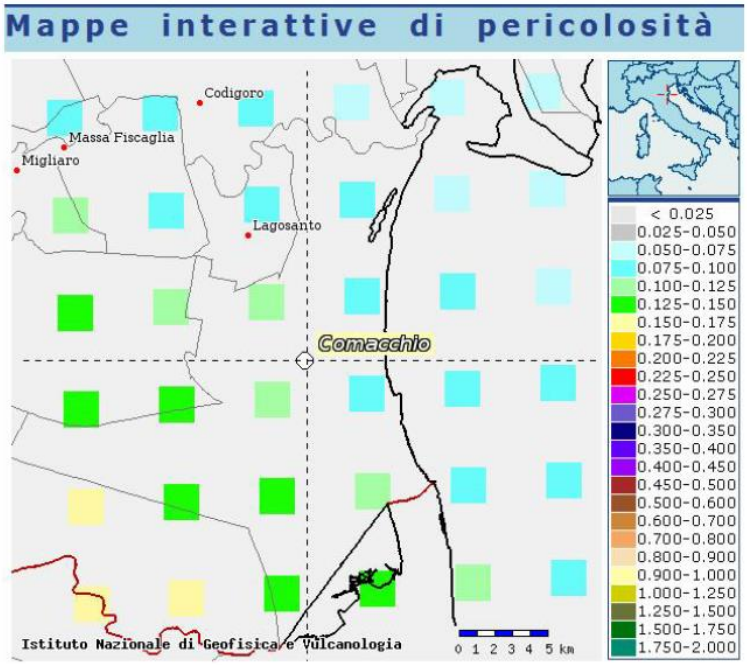


Figura 5-2 Carta pericolosità sismica, da progetto DPC-INGB – S1

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

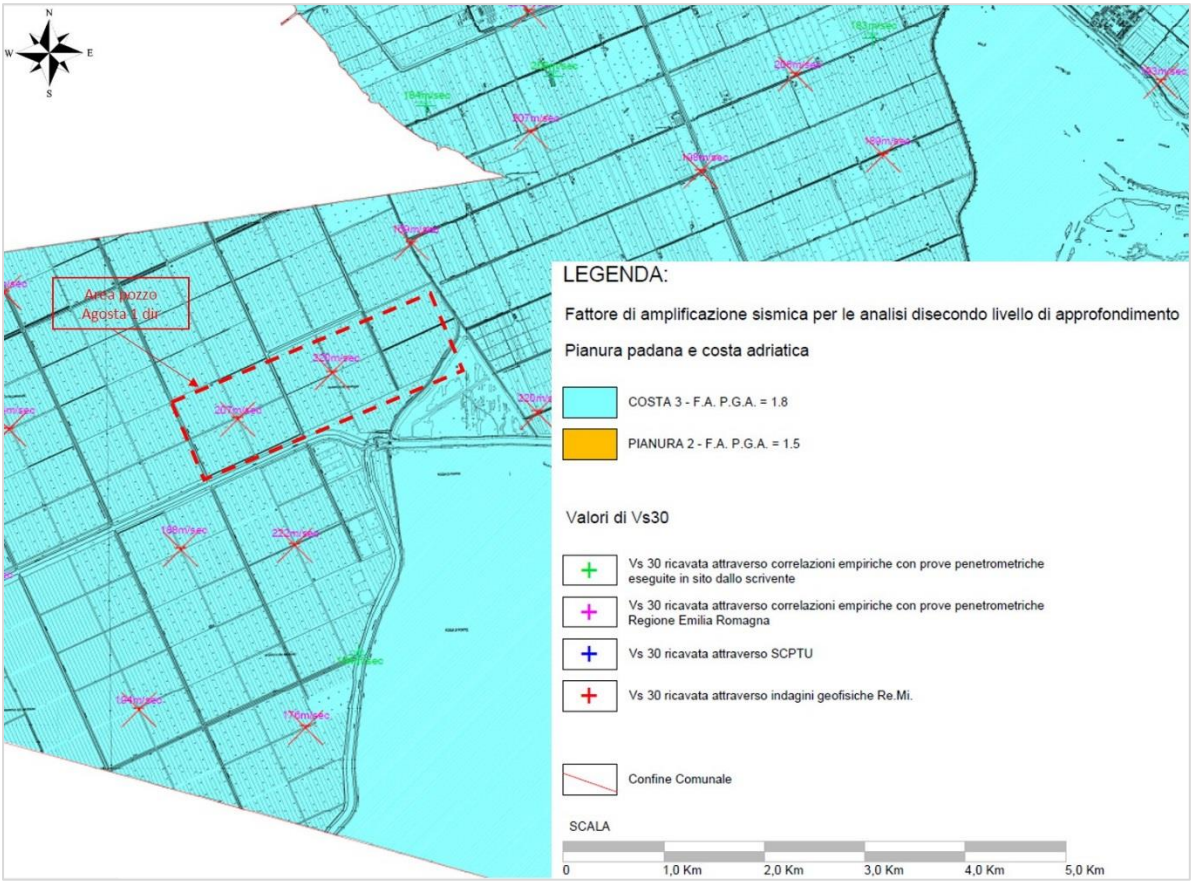


Figura 5-3 Amplificazione sismica e valori di Vs30 (tratto dal PSC del Comune di Comacchio, 2014)

5.2 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido (Vs30>800 m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Ciò comporta delle non trascurabili differenze nel calcolo dell'accelerazione sismica di base rispetto alle precedenti normative.

Pertanto (secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008) la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Il territorio nazionale è stato quindi suddiviso in punti, denominati "nodi", a ciascuno dei quali è stato assegnato un valore dell'accelerazione orizzontale massima al suolo (ag), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente a un periodo di ritorno di 475 anni).

Nell'allegato B del suddetto D.M. sono forniti i valori dei parametri ag, Fo e T*C necessari per la determinazione delle azioni sismiche, inerenti ai 10751 punti del suolo italiano identificati e per 9 valori del periodo di ritorno TR (30 anni, 50 anni, 72 anni, 11 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni).

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Quindi sulla base delle disposizioni previste nelle NTC 08, ai fini della determinazione dell'azione sismica, si riportano i parametri determinati per l'opera di progetto:

- platee di fondazione manufatti in c.a. a servizio dell'area pozzo;
- classificazione sismica del Comune di Comacchio - Zona sismica 3 (Tabella 5-1);
- velocità media equivalente delle onde S (Vs30) pari a 207 m/sec;
- Categoria suolo di fondazione corrispondente a C (Tabella 5-2);
- Categoria topografica corrispondente a T1;
- Coefficiente topografico (St) pari a 1,00 (Tabella 5-4);
- Vita nominale dell'opera (Tabella 5-5) che corrisponde al numero di anni nel quale la struttura, soggetta alla manutenzione ordinaria, deve essere usata allo scopo al quale è destinata: VN≥10 anni;
- Valore di Coefficiente d'uso C_u pari a 1,5 definito dalla classe d'uso (Tabella 5-6)

Come indicato precedentemente i valori utilizzati per la definizione dell'azione sismica, sono puntualmente definiti da un reticolo di riferimento (griglia di 10751 punti) sulla base delle coordinate geografiche (latitudine e longitudine) del sito di studio pari a Latitudine 44° 39' 21" Longitudine 12° 5' 15" (Coordinate WGS84).

Mentre per quanto riguarda il periodo di riferimento per l'azione sismica PVr si è considerato pari a 15, in quanto il coefficiente Vr risulta uguale alla Vita Nominale dell'opera (V_N=10) per il Coefficiente d'uso (C_U=1,5) (V_R=$V_N C_U$), identificato in Tabella 5-5.

Tabella 5-2 Categorie di sottosuolo secondo D.M. 14/01/2008

Categoria di sottosuolo	Descrizione tratta da D.M. 14/01/2008, Tabella 3.2.II
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3.00 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
C	Deposti di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15< NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70< cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	Deposti di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs>800 m/sec).

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Tabella 5-3 Determinazione dell'amplificazione stratigrafica S_s

Categoria di sottosuolo	S_S	C_C
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Tabella 5-4 Determinazione dell'amplificazione topografica S_T

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Tabella 5-5 Vita Nominale in funzione dei tipi di costruzione

Tipo di Costruzione	Vita Nominale - Vn (anni)
Opere provvisorie – Opere provvisionali- Strutture in fase costruttiva;	≤10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali, e dighe di dimensioni contenute o importanza normale;	≤50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali, e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica;	≤100

Tabella 5-6 Coefficiente d'uso (NTC 08, Paragrafo 2.4.2)

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente Cu	0,70	1,0	1,5	2,0

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Utilizzando il software automatico di calcolo Geostru PS Advanced, della Geostru® Software e introducendo i dati di input sopra riportati all'interno del programma, si ottengono i parametri e coefficienti sismici di seguito elencati e trattati nel successivo paragrafo

- Stato limite di operatività (SLO).
- Stato limite di danno (SLD).
- Stato limite di salvaguardia della vita (SLV).
- Stato limite di prevenzione del collasso (SLC).

In Tabella 5-7 si riportano i valori ottenuti per i parametri sismici calcolati

Tabella 5-7 Parametri sismici calcolati

STATO LIMITE	Prob. superam. (%)	Tr (anni)	ag (g)	F0 (-)	Tc0 (sec)
Operatività (SLO)	81	30	0.036	2.529	0.254
Danno(SLD)	63	30	0.036	2.529	0.254
Salvaguardia Vita (SLV)	10	142	0.068	2.518	0.298
Prev. Collasso (SLC)	5	292	0.094	2.561	0.289

5.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e ammassi rocciosi e dalle relative proprietà fisiche e meccaniche che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

In particolare i principali parametri che caratterizzano la pericolosità sono:

- Categoria sottosuolo; in questo caso i suoli presenti nell'area di intervento corrispondono ad una categoria C, corrispondenti a *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fine)";*
- Categoria topografica; l'area di intervento presenta una categoria topografica pari a T1, corrispondente a: "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°".

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

La probabilità di superamento è strettamente collegata alle prestazioni attese dalla costruzione, cioè dallo stato limite che si intende non sarà superato.

Le NTC prevedono i seguenti quattro stati limite.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Stati limite di esercizio

• Stato limite di operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni e interruzioni d'uso significativi.

• Stato limite di danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Stati limite ultimi

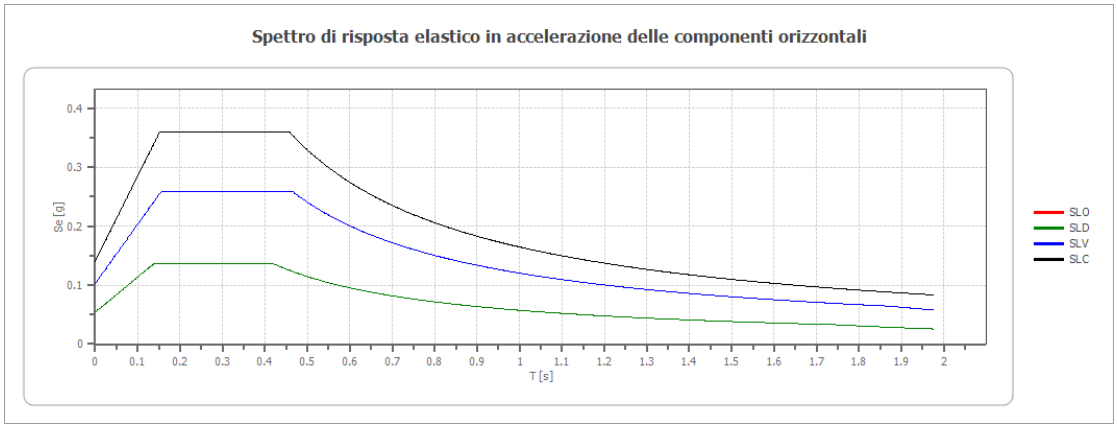
• Stato limite di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

• Stato limite di prevenzione del collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali e un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

In riferimento alla categoria del sottosuolo e topografica di seguito sono riportati i coefficienti di stabilità di pendii e fondazioni calcolati.

Tabella 5-8 - Coefficienti sismici di stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.011	0.021	0.028
kv	0.005	0.005	0.010	0.014
Amax [m/s²]	0.531	0.531	1.007	1.380
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200



This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Figura 5-4 - Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Tabella 5-9 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.5	0.036	2.529	0.254	1.500	1.650	1.000	1.500	1.000	0.139	0.418	1.744	0.054	0.137
SLD	1.5	0.036	2.529	0.254	1.500	1.650	1.000	1.500	1.000	0.139	0.418	1.744	0.054	0.137
SLV	1.5	0.068	2.518	0.298	1.500	1.560	1.000	1.500	1.000	0.155	0.465	1.874	0.103	0.258
SLC	1.5	0.094	2.561	0.289	1.500	1.580	1.000	1.500	1.000	0.152	0.457	1.975	0.141	0.360

Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50

Tabella 5-10 Spettro di progetto

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.057	0.057	0.080	0.110
kv=Sdve(T) Verticale [g]	0.004	0.004	0.006	0.010

Tabella 5-11 Spettro di progetto

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1.5	0.036	2.529	0.254	1.500	1.650	1.000	1.500	1.000	0.139	0.418	1.744	0.054	0.137
SLO verticale	1.5	0.036	2.529	0.254	1.500	1.650	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.009	0.023
SLD orizzontale	1.5	0.036	2.529	0.254	1.500	1.650	1.000	1.500	1.000	0.139	0.418	1.744	0.054	0.137
SLD verticale	1.5	0.036	2.529	0.254	1.500	1.650	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.009	0.023
SLV orizzontale	1.5	0.068	2.518	0.298	1.500	1.560	1.000	1.500	1.500	0.155	0.465	1.874	0.103	0.172
SLV verticale	1.5	0.068	2.518	0.298	1.500	1.560	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.024	0.041
SLC orizzontale	1.5	0.094	2.561	0.289	1.500	1.580	1.000	1.500	1.500	0.152	0.457	1.975	0.141	0.240
SLC verticale	1.5	0.094	2.561	0.289	1.500	1.580	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.039	0.066

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

5.4 AMPLIFICAZIONE SISMICA

Per la valutazione del fattore di amplificazione sismica si è fatto ricorso all'Atto d'indirizzo n.112 del 2007 della Regione Emilia Romagna, in cui all'allegato A2 vengono mostrate le tabelle con i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di intensità di Housner (SI/SI0).

Inoltre l'amplificazione sismica è stata condotta applicando l'aggiornamento degli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica atto d'indirizzo ai sensi dell'art. 16 della LR 20/2000 (deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007).:

L'aggiornamento è stato necessario a seguito dell'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/1/2008), della pubblicazione degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" del Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P. A. (ICMS 2008), delle numerose fusioni di Comuni, avvenute e in atto, in Emilia-Romagna nonché dei numerosi dati acquisiti e studi effettuati in oltre 8 anni di attività.

In particolare, l'aggiornamento tiene conto dei dati acquisiti e degli studi effettuati per la ricostruzione e la pianificazione urbanistica post-sisma di L'Aquila 2009 e Emilia 2012, ai quali hanno contribuito i Sevrizi regionali Geologico, Sismico e dei Suoli e Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e Uso Sostenibile del Territorio e gli studi realizzati con i contributi per studi di riduzione del rischio sismico di cui all'art. 11 della L. 77/2009 (OPCM 3907/2011 – DGR 1051/2011; OPCM 4007/2012 – DGR 1302/2012; OCDPC 52/2013 – DGR 1919 2013) che hanno consentito anche l'aggiornamento degli ICMS 2008 e degli standard nazionali di riferimento per gli studi di microzonazione sismica (v. documenti della Commissione Tecnica per la microzonazione sismica del Dipartimento della Protezione Civile).

Quindi, in riferimento alla Delibera Giunta regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015, per la microzonazione sismica si identificano due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase è finalizzata a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno). L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolti a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato, sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

- nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività ≤ 15°, vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso abachi e formule. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;

- un'analisi più approfondita (terzo livello di approfondimento) è invece richiesta per la definizione di indici di rischio nei seguenti casi (vedere Allegato A1):
    - aree soggette a liquefazione e densificazione;
    - aree instabili e potenzialmente instabili;
    - aree con rapida variazione della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, il cui modello stratigrafico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali.

Pertanto in riferimento all'area di intervento, di seguito si descrivono i due livelli di analisi applicati per la microzonazione sismica.*1° Livello*

Applicando il primo livello d'approfondimento si ricava che l'area in esame è soggetta a possibile amplificazione per effetti litologici e morfologici in quanto ricadente nello scenario denominato Pianura 2; (possibile amplificazione sismica in presenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi).

2° Livello

Tale livello prevede l'analisi della pericolosità locale basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e stime dell'amplificazione del moto sismico attraverso abachi e formule

In mancanza di dati sito specifici (prove sismiche di sito) si è provveduto all'analisi attraverso stime e formule di dati bibliografici specifici della Regione Emilia Romagna secondo quanto riportato qui di seguito. In primo luogo è stata applicata una classe dell'edificio pari a III secondo le categorie di seguito riportate:

- Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi;
- Industrie con attività pericolose per l'ambiente;
- Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV;
- Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza;
- Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

A tale classe di edifici è stata riportata una vita nominale pari a 10 anni, secondo quanto indicato nei precedenti paragrafi; ottenendo i valori di seguito riportati in tabella.

Tabella 5-12 Parametri sismici in riferimento ad una classe di edificio III e vita nominale pari a 10

Stato limite	Tr [Anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [sec]
SLO	30	0.038	2.537	0.257

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

SLD	30	0.038	2.537	0.257
SLV	142	0.077	2.514	0.283
SLC	292	0.106	2.580	0.277

Successivamente sono stati considerati come elementi di amplificazione:

- Abachi della regione Emilia Romagna, con il termine abachi si intende tabelle che - tramite valori di parametri acquisiti con prove geotecniche e geofisiche di tipo standard (spessore delle coperture, velocità di propagazione delle onde di taglio nella copertura, …) - permettono di stimare l'amplificazione del moto sismico in superficie. Gli abachi della Regione Emilia Romagna sono stati costruiti ricorrendo a modellazioni basate su situazioni reali del territorio regionale;
- Litotipo prevalente costituito da Argilla;
- Profilo di velocità considerato "Lineare pendenza intermedia";
- Spessore del sottosuolo pari a 30.0 m;
- Vs 30 pari a 207.0 m/sec.

Si ottiene uno spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali e verticali riportati di seguito.

Tabella 5-13 Spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali

Stato limite	Tr [Anni]	Fa [-]	Fv [-]	ag [g]	ag abaco [g]	F0 [-]	Tc* [sec]	SAc [g]	SA(TB) [g]	TB [sec]	TC [sec]	TD [sec]
SLO	30	1.970	2.768	0.038	0.060	2.537	0.257	0.096	0.025	0.120	0.361	1.751
SLD	30	1.970	2.768	0.038	0.060	2.537	0.257	0.096	0.025	0.120	0.361	1.751
SLV	142	1.970	2.768	0.077	0.060	2.514	0.283	0.194	0.055	0.132	0.397	1.909
SLC	292	1.970	2.768	0.106	0.060	2.580	0.277	0.274	0.076	0.130	0.389	2.025

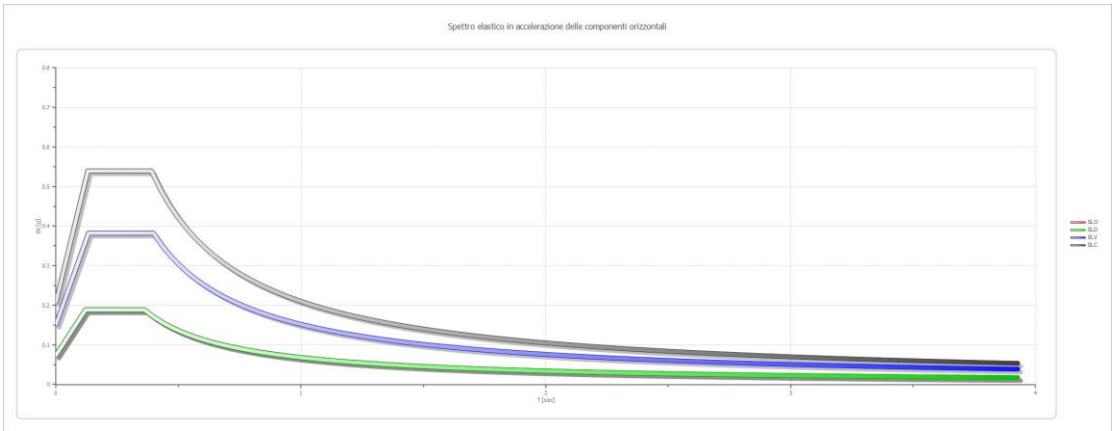


Tabella 5-14 Spettro di risposta elastico delle componenti verticali

Stato limite	Tr [Anni]	Fa [-]	Fv [-]	ag [g]	ag abaco [g]	F0 [-]	Tc* [sec]	SAc [g]	SA(TB) [g]	TB [sec]	TC [sec]	TD [sec]
SLO	30	1.970	2.768	0.038	0.060	2.537	0.257	0.025	0.006	0.120	0.361	1.751
SLD	30	1.970	2.768	0.038	0.060	2.537	0.257	0.025	0.006	0.120	0.361	1.751
SLV	142	1.970	2.768	0.077	0.060	2.514	0.283	0.073	0.021	0.132	0.397	1.909
SLC	292	1.970	2.768	0.106	0.060	2.580	0.277	0.120	0.033	0.130	0.389	2.025

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Il rispetto dei vari stati limite viene considerato conseguito secondo quanto riportato dalle Norme Tecniche Costruttive del 2008 (NTC 08):

- Nei confronti di tutti gli Stati Limite Ultimi (SLU) quando siano soddisfatte le verifiche al solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV);
- Nei confronti di tutti gli Stati Limite di Esercizio (SLE) quando siano soddisfatte le verifiche al solo Stato Limite di Danno (SLD).

I valori così ottenuti ed indicati in Tabella 5-12 e Tabella 5-13, seppur non calcolati attraverso prove geofisiche sito specifiche ma attraverso analisi e stime di valori indicati dalla Regione Emilia Romagna, permettono di affermare il pieno rispetto dei vari stati limite (SLU, SLV, SLE e SLD) secondo quanto riportato dalle Norme Tecnico Costruttive del 2008 (NTC 08).

5.5 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il DM 14.01.2008 (paragrafo 7.11.3.4) e successiva Circolare esplicativa n. 617/2009 (paragrafo C7.11.3.4) impongono che sia valutata la stabilità nei confronti della liquefazione mediante il ricorso a metodologie analitiche o a carattere semiempirico.

Tali verifiche, secondo le Norme Tecnico Costruttive del 2008, devono essere condotte tutte le volte che il manufatto in progetto interagisce con terreni saturi a prevalente componente sabbiosa ed in presenza, ovviamente, di sollecitazioni cicliche e dinamiche per le quali il sottosuolo tende a comportarsi come un sistema idraulicamente chiuso, ovvero come un sistema non drenato. Tali verifiche sono riportate in Figura 5-5 (tratto da Tavola dell'Indice del potenziale di liquefazione", Piano Strutturale Comunale, Comune di Comacchio), dalle quali si evince che per l'area del progetto vi sia un rischio di liquefazione basso. Ciò esclude (o rende altamente improbabili) fenomeni di liquefazione del terreno ed i conseguenti danni alle strutture.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

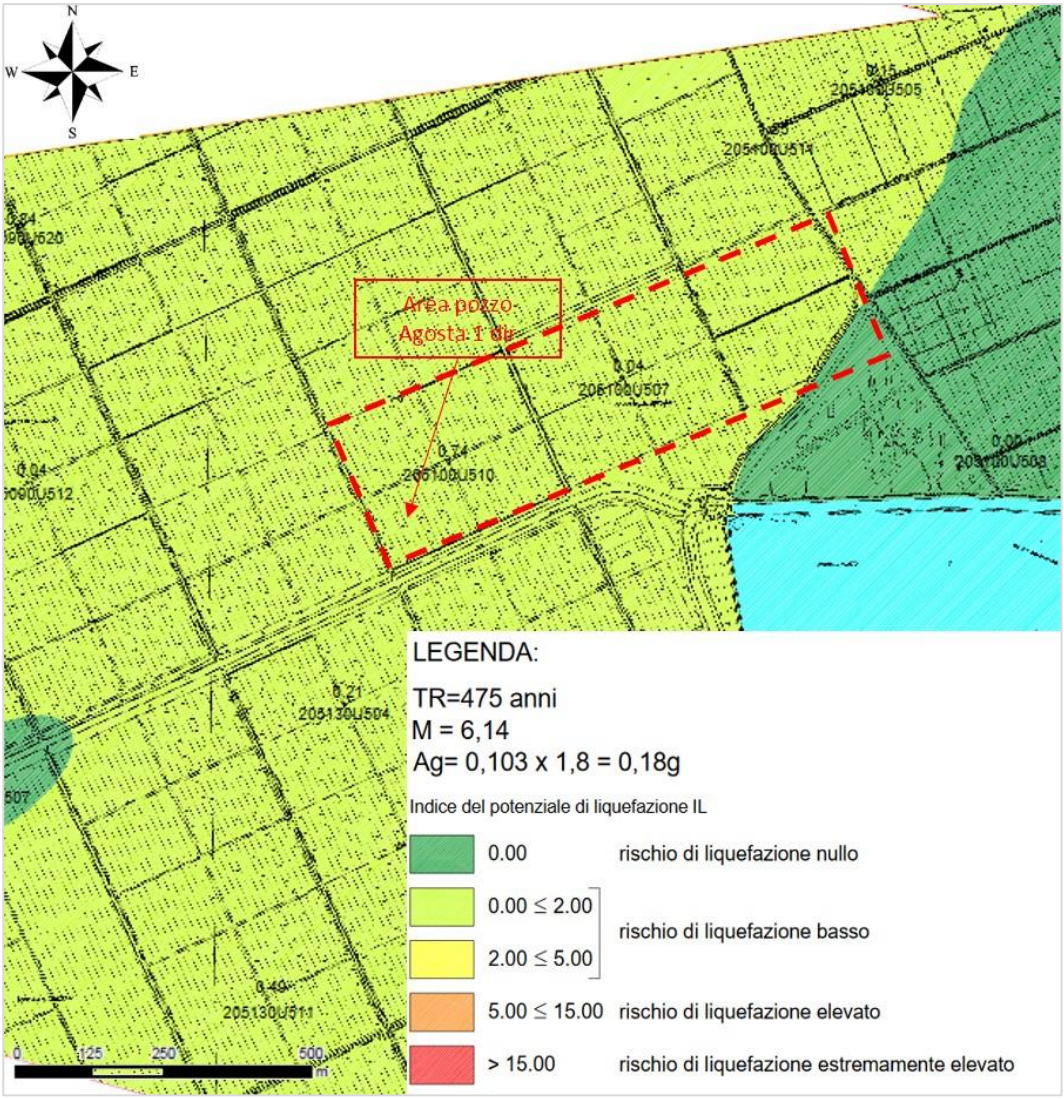


Figura 5-5 Carta del rischio di liquefazione per il Comune di Comacchio, Piano Strutturale Comunale 2014

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

6 ANALISI GEOTECNICA SITO SPECIFICA

L'analisi geomorfologica precedentemente eseguite permette di riconoscere le strutture paleomorfologiche, di capire quindi l'ambiente deposizionale e dunque di far previsioni buone sulle litologie dominanti e sul loro comportamento geomeccanico.

In ambienti deposizionali a bassa energia idrodinamica (nei bacini interfluviali compresi tra due o più paleoalvei, negli spazi compresi fra più allineamenti di cordoni di dune) si sedimentano generalmente litologie fini, quali limi e argille più o meno organiche, e torbe; questi terreni presentano quindi caratteristiche di compressibilità, che li hanno portati a ribassarsi per effetto della subsidenza naturale e per effetto della subsidenza antropica. In ambienti deposizionali a più alta energia idrodinamica (lungo i corsi dei paleoavei, lungo gli allineamenti di paleodune testimoni della progradazione verso est della linea di costa) si sedimentano generalmente litologie granulometricamente più grossolane, quali sabbie e limi; questi terreni presentano quindi caratteristiche geomeccaniche decisamente migliori, poco soggetti a fenomeni di compressibilità, sono terreni permeabili, ben drenanti e topograficamente rilevati; infatti si parla di dossi fluviali e costieri.

Queste semplici considerazioni unitamente all'analisi della Carta geotecnica Piano strutturale del Comune di Comacchio (PSC) hanno permesso di osservare all'interno dell'area di progetto (Figura 6-1) la presenza essenzialmente di terreni torbosi e/o argillosi organici (ex bacini palustri ad acque dolci) dalle bassissime caratteristiche geomecchaniche.

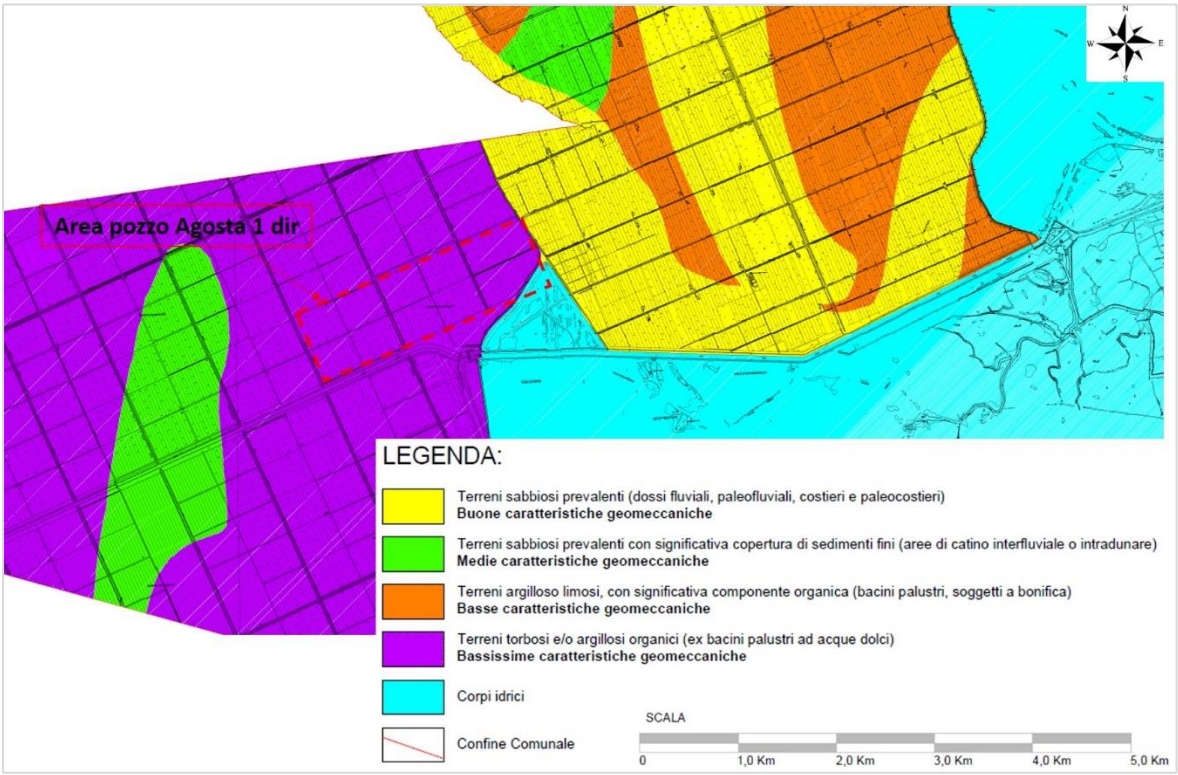


Figura 6-1 Carta geotecnica per il Comune di Comacchio, Piano Strutturale Comunale 2014

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

6.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CONTINUE CPT

Come indicato nel Paragrafo 3.3.1, in data 24 Gennaio 2002 sono state effettuate n.3 prove penetrometriche statiche continue (Cone Penetration Test), profonde 20 m ed ubicate presso l'area pozzo Agosta 1 dir (Figura 3-11).

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate (Tabella 6-1, Rif Normativo ASTM D3441-86), infissa nel terreno a velocità costante. La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica. La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale: punta / manicotto tipo "Begemann".

Tabella 6-1 Caratteristiche tecniche della strumentazione CPT

Caratteristiche tecniche	Valore
Diametro della Punta Conica meccanica	35,7 mm
Area di punta	10 cm^2
Angolo di apertura del cono	60°
Superficie laterale del manicotto	150 cm^2
Velocità di infissione	2 cm/sec ±0,5 cm/sec
Passo delle letture	20 cm
Costante di trasformazione (Ct)	10

Le prove eseguite, hanno consentito di delineare l'andamento in profondità della litostratigrafia dei depositi che verranno interessati dalle opere in progetto.

In relazione al volume significativo dei depositi direttamente influenzati dalla costruzione delle opere in progetto e alla natura dei terreni ed ai requisiti funzionali delle opere stesse, le prove geotecniche eseguite in fase di progettazione preliminare sono da considerarsi esaustive per lo scopo della presente relazione.

6.1.1 Elaborazione dei risultati e valutazioni

I risultati della prove penetrometriche sono stati registrati attraverso una cella di carico montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata selettore, che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna rilevando gli sforzi di infissione.

I valori acquisiti (LP Lettura alla punta e LT Lettura della punta + manicotto) sono stati rielaborati, tenendo in debito conto i parametri indicati in Tabella 6-1, per mezzo di un software di calcolo "STATIC PROBING" della GeoStru e utilizzati per calcolare le relative resistenze.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

L'interpretazione delle prove permette quindi di ottenere:

- RP (Resistenza alla punta)
  dove (RP) Qc = (LP x Ct) / (Area di punta = 10 cm^2)
- RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione)
  Dove (RL) Ql = [(LT – LP) x Ct] / (Sup. laterale manicotto=150 cm^2)
- Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %).

I risultati ottenuti sono poi interpretati litologicamente in funzione dei principali studi bibliografici tra cui: Douglas Olsen 1981, A.G.I. 1977, Schmertmann 1978, Robertson 1983-1986 e Begemann 1965.

6.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI SUOLI

I risultati ottenuti a seguito dell'esecuzione delle prove CPT1÷CPT3 (Tabella 6-2) hanno permesso di identificare quattro corpi sedimentari distinti, di seguito descritti:

- Unità geotecnica A – Depositi di torba e argilla nera (da 0,00 a 1,60-2,0 m da p.c.)
- Unità geotecnica B – Depositi fluviali sabbiosi (da 1,60-2,0 a 11,50 m da p.c.)
- Unità geotecnica C – Depositi argillosi limosi (da 11,50 a 16,00 m da p.c.)
- Unità geotecnica D – Depositi fluviali sabbiosi (da 16,00 a 20,00 m da p.c.)

Tabella 6-2 Risultati ottenuti a seguito della realizzazione delle prove CPT

Profondità di strato	RP (Kg/cm²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Descrizione
1,60/2,00	6,0	Coesivo	1,650	0,12	Torba argilla nera
11,50	70,0	Incoerente	1,850	0,98	Sabbia
16,0	20,0	Coesivo	1,800	1,27	Argilla limosa
20,0	30,0	Incoerente	1,800	1,58	Sabbia

Unità geotecnica A – Depositi di torba e argilla nera (da 0,00 a 1,60-2,0 m da p.c.)

Unità geotecnica composta da depositi di Torba organica e/o argilla tenera ad una profondità compresa tra 0,00 e 1,60/2,00 m da p.c. I terreni risultano saturi ad una profondità di 1,60. Risultano essere depositi dovuti alle successive fasi di alluvionamento dell'area, in cui è presente uno strato compressibile torboso talora argilloso tenero o poco

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

consistente. I depositi in questione possiedono scadenti e/o mediocri caratteristiche geotecniche.

Tabella 6-3 Caratteristiche geotecniche dell'Unità A

Parametri geotecnici	Valori
Peso di volume saturo (t/mc)	γ = 1.65
Peso di volume immerso (t/mc)	γ = 0.65
Coesione non drenata (kg/cmq)	Cu = 0.15
Classificazione AGI	Molle o poco consistente
Mv modulo compressibilità verticale (cmq/kg)	Mv=0.023
K Winkler orizzontale (kg/cmc)	K =1.00

Unità geotecnica B – Depositi fluviali sabbiosi (da 1,60-2,0 a 11,50 m da p.c.)

Immediatamente sotto l'unità geotecnica A in netta separazione, sono presenti depositi naturali di origine alluvionale costituiti da sabbie con addensamento variabile con la profondità; dalla quota di 3.00 m da p.c. si nota un maggiore addensamento. I depositi sono saturi e possiedono sufficienti caratteristiche geotecniche.

Tabella 6-4 Caratteristiche geotecniche dell'Unità B

Parametri geotecnici	Valori
Peso di volume saturo (t/mc)	γ = 1.95
Angolo di resistenza al taglio (°gradi)	∅ °= 33 °
Densità relativa (%)	Dr = 40-50%
Classificazione AGI	Moderatamente addensato
Modulo di Young (kg/cmq)	E=90
Modulo Edometrico (kg/cmq)	E =60
Modulo di Poisson (kg/cmq)	P =0.32
K Winkler orizzontale (kg/cmc)	K =3.00

Unità geotecnica C – Depositi argillosi limosi (da 11,50 a 16,00 m da p.c.)

La terza unità geotecnica si sviluppa dalla profondità media di 11.50 m da p.c. e consta di un livello compressibile costituito da argille moderatamente consistenti. I depositi risultano essere saturi e possiedono mediocri caratteristiche geotecniche.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Tabella 6-5 Caratteristiche geotecniche dell'Unità C

Parametri geotecnici	Valori
Peso di volume saturo (t/mc)	γ = 2.00
Peso di volume immerso (t/mc)	γ = 0.80
Coesione non drenata (kg/cmq)	Cu = 0.70
Classificazione AGI	Poco consistente
Mv modulo compressibilità verticale (cmq7kg)	Mv=0.030
K Winkler orizzontale (kg/cmc)	K =1.40

Unità geotecnica D – Depositi fluviali sabbiosi (da 16,00 a 20,00 m da p.c.)

Oltre i 16.00 m sono presenti depositi sabbiosi moderatamente addensati saturi. I depositi in questione possiedono sufficienti caratteristiche geotecniche.

Tabella 6-6 Caratteristiche geotecniche dell'Unità D

Parametri geotecnici	Valori
Peso di volume saturo (t/mc)	γ = 1.85
Angolo di resistenza al taglio (°gradi)	∅ °= 31 °
Densità relativa (%)	Dr = 30-40%
Classificazione AGI	Mod. Addensato
Modulo di Young (kg/cmq)	E=60
Modulo Edometrico (kg/cmq)	E =60

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

7 SICUREZZA E PRESTAZIONI DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale.

Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare, secondo quanto stabilito dalle linee guida Norme Tecniche Costruttive (NTC 08), le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *Sicurezza nei confronti di Stati Limite Ultimi (SLU):* capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *Sicurezza nei confronti di Stati Limite di Esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *Robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati. Nel seguito sono normati i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza, applicabili nella generalità dei casi; tale metodo è detto di primo livello. Per opere di particolare importanza si possono adottare metodi di livello superiore, tratti da documentazione tecnica di comprovata validità.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici, Rki e Fkj definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. In genere, i frattili sono assunti pari al 5%.

Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani). La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$Rd \geq Ed$

Dove: Rd è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

Ed è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $Fdj = Fkj \cdot \gamma Fj$ delle azioni, o direttamente $Edj = Ekj\gamma Ej$.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

I coefficienti parziali di sicurezza, γMi e γFj , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

Di seguito si riporta la verifica effettuata sulla resistenza del terreno allo SLU (capacità portante) e SLE (cedimenti) in riferimento a quanto precedentemente riportato.

I calcoli sono stati eseguiti secondo le ipotesi progettuali, considerando fondazioni a platea di varie dimensioni poste su terrapieno di bonifica, poggiante su suolo naturale afferente l'unità geotecnica B e definita nel Paragrafo 6.2, in assenza di falda, con stratigrafia del sottosuolo come da modello geotecnico riferito a strato arido di ricarica costipato e rullato con interposti geotessili di rinforzo AVENTE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE PARI O SUPERIORI ALL'UNITA' GEOTECNICA B.

Il volume significativo dei vari manufatti, anche nel caso di platee più estese, sarà contenuto per la maggior influenza dei carichi entro l'unità geotecnica B di sufficienti/discrete caratteristiche geotecniche, omogenea nella distribuzione areale e verticale nell'area di interesse. (Paragrafo 6.2).

Le verifiche sono state eseguite per carichi centrati ed in condizioni drenate (c' = 0) nello strato di fondazione (cassonetto di fondazione). Si ritiene che i carichi agenti, viste le strutture presenti (vasche e attrezzature) siano modesti anche in virtù della elevata superficie di appoggio (platea). In ogni caso detta verifica tiene conto della resistenza di progetto dei depositi di appoggio delle fondazioni dei vari manufatti considerando un carico massimo agente di 1,00 kg/cmq (SLU) ed un carico di esercizio di 0,70 kg/cmq (SLE).

7.1 CARICO LIMITE DI FONDAZIONE SU TERRENI

Il carico limite di una fondazione superficiale può essere definito con riferimento a quel valore massimo di carico per il quale in nessun punto del sottosuolo si raggiunge la condizione di rottura (metodo di Frolich); oppure con riferimento a quel valore del carico, maggiore del precedente, per il quale il fenomeno di rottura si è esteso ad un ampio volume del suolo (metodo di Prandtl e successivi).

Prandtl ha studiato il problema della rottura di un semispazio elastico per effetto di un carico applicato sulla sua superficie con riferimento all'acciaio, caratterizzando la resistenza a rottura con una legge (valida anche per i terreni) del tipo:

$$t = c + s \cdot tg\, j$$

Le ipotesi e le condizioni introdotte dal Prandtl sono le seguenti:

- materiale privo di peso e quindi g=0;
- comportamento rigido – plastico;
- resistenza a rottura del materiale esprimibile con la legge precedentemente indicata;
- carico uniforme, verticale ed applicato su una striscia di lunghezza infinita e di larghezza 2b (stato di deformazione piana);
- tensioni tangenziali nulle al contatto fra la striscia di carico e la superficie limite del semispazio.

All'atto della rottura si verifica la plasticizzazione del materiale racchiuso fra la superficie limite del semispazio e la superficie GFBCD indicata in Figura 7-1. Nel triangolo AEB la rottura avviene secondo due famiglie di segmenti rettilinei ed inclinati di 45°+j/2 rispetto all'orizzontale (dove j è l'angolo di attrito del terreno).

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Nelle zone ABF e EBC la rottura si produce lungo due famiglie di linee, l'una costituita da segmenti rettilinei passanti rispettivamente per i punti A ed E, mentre l'altra da archi di de famiglie di spirali logaritmiche. I poli di queste sono i punti A ed E. Nei triangoli AFG e ECD la rottura avviene su segmenti inclinati di ±(45°+ j/2) rispetto alla verticale.

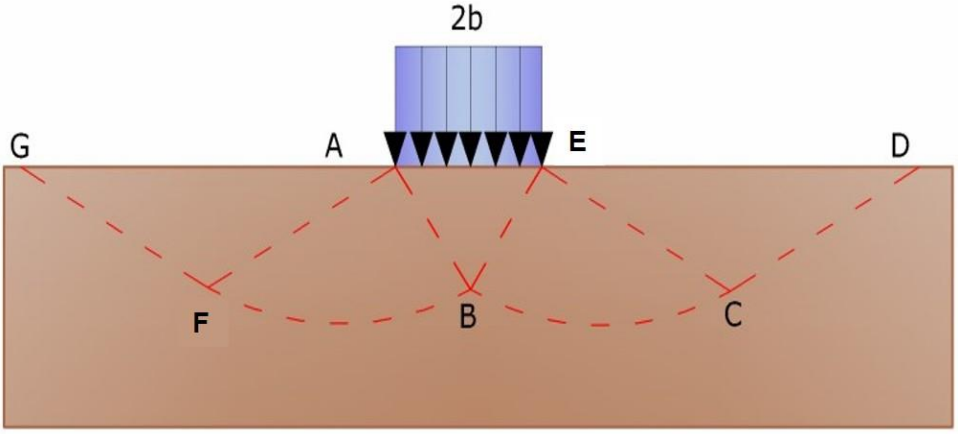


Figura 7-1 Schema di Prandtl per il calcolo della capacità portante

Individuato così il volume di terreno portato a rottura dal carico limite, questo può essere calcolato scrivendo la condizione di equilibrio fra le forze agenti su qualsiasi volume di terreno delimitato in basso da una qualunque delle superfici di scorrimento.

Si arriva quindi ad una equazione del tipo **q =B´c**, dove il coefficiente B dipende soltanto dall'angolo di attrito j del terreno.

$$B = cot\,g\varphi\left[e^{\pi tg\varphi}tg^{2}(45° + \varphi/2) - 1\right]$$

Per j =0 il coefficiente B risulta pari a 5.14, quindi q=5.14 ´ c.

Nell'altro caso particolare di terreno privo di coesione (c=0, g¹0) si avrebbe q=0, secondo la teoria di Prandtl, non sarebbe dunque possibile applicare nessun carico sulla superficie limite di un terreno incoerente. Da questa teoria, anche se non applicabile praticamente, hanno preso le mosse tutte le ricerche ed i metodi di calcolo successivi.

Di seguito è mostrata la scheda di calcolo in cui sono presenti i principali dati (progettuali, sismici e geotecnici) utilizzati ai fini del calcolo ed i valori di Carico Limite e dei Cedimenti elastici in riferimento alle opere da realizzare ottenuti.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

DATI GENERALI

==========

Azione sismica	NTC 2008
Larghezza fondazione	10.0 m
Lunghezza fondazione	17.0 m
Profondità piano di posa	0.2 m
Altezza di incastro	0.2 m
Profondità falda	1.8
Sottofondazione...Sporgenza/Altezza	0.1/0.1 m
Correzione parametri	

==========

SISMA

==========

Accelerazione massima (ag/g)	0.102
Effetto sismico secondo	Paolucci e Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0.0205

==========

Coefficienti sismici [N.T.C.]

==========

Dati generali

Tipo opera:	1 - Opere provvisorie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	10.0 [anni]
Vita di riferimento:	15.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.35	2.53	0.25
S.L.D.	30.0	0.35	2.53	0.25
S.L.V.	142.0	0.67	2.52	0.3
S.L.C.	292.0	0.92	2.56	0.29

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.525	0.2	0.0107	0.0054
S.L.D.	0.525	0.2	0.0107	0.0054
S.L.V.	1.005	0.2	0.0205	0.0102
S.L.C.	1.38	0.2	0.0281	0.0141

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [Kg/cm²]	Coesione non drenata [Kg/cm²]	Modulo Elastico [Kg/cm²]	Modulo Edometrico [Kg/cm²]	Descrizione
2.0	1800.0	1950.0	30.0	0.0	0.0	140.0	80.0	RIPORTO
9.5	1850.0	1950.0	33.0	0.0	0.0	90.0	60.0	GEO B
4.5	1800.0	2000.0	22.0	0.0	0.7	40.0	50.0	GEO C
4.0	1800.0	1850.0	31.0	0.0	0.0	60.0	60.0	GEO D

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [Kg/cm²]	Tipo
1	A1+M1+R3	1.00	Progetto
2	Sisma	1.00	Progetto
3	S.L.E.	0.70	Servizio
4	S.L.D.	0.70	Servizio

==========

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE - Sisma

==========

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult]	2.74 Kg/cm²
Resistenza di progetto[Rd]	**1.19 Kg/cm²**
Tensione [Ed]	1.0 Kg/cm²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	2.74
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	**Verificata**

==========

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Costante di Winkler **1.1 Kg/cm³**

A1+M1+R3

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

==========

Fattore [Nq]	7.18
Fattore [Nc]	15.97
Fattore [Ng]	6.33
Fattore forma [Sc]	1.27
Fattore profondità [Dc]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.23
Fattore profondità [Dq]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.76
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

==========

Carico limite **3.36 Kg/cm²**

Resistenza di progetto **1.46 Kg/cm²**

Condizione di verifica [Ed<=Rd] **Verificata**

==========

==========

SISMA

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

==========

Fattore [Nq]	7.18
Fattore [Nc]	15.97
Fattore [Ng]	6.33
Fattore forma [Sc]	1.27

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Fattore profondità [Dc]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.23
Fattore profondità [Dq]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.76
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	0.98
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.98
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	0.99

==========

Carico limite	**3.3 Kg/cm²**
Resistenza di progetto	**1.43 Kg/cm²**
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	**Verificata**

==========

==========

CEDIMENTI ELASTICI

==========

Pressione normale di progetto	0.7 Kg/cm²
Spessore strato	2.0 m
Profondità substrato roccioso	10.0 m
Modulo Elastico	140.0 Kg/cm²
Coefficiente di Poisson	0.33

==========

Coefficiente di influenza I1	0.03
Coefficiente di influenza I2	0.07
Coefficiente di influenza Is	0.06

==========

Cedimento al centro della fondazione	**4.26 cm**

==========

Coefficiente di influenza I1	0.01
Coefficiente di influenza I2	0.04
Coefficiente di influenza Is	0.03

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Cedimento al bordo	0.97 cm

==========

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

==========

Pressione normale di progetto	0.7 Kg/cm²
Tempo	15.0
Profondità significativa Zi (m)	5.212
Media dei valori di Nspt all'interno di Zi	9.5
Fattore di forma fs	1.188
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1.44
Indice di compressibilità	0.073
Cedimento	**41.456 mm**

==========

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

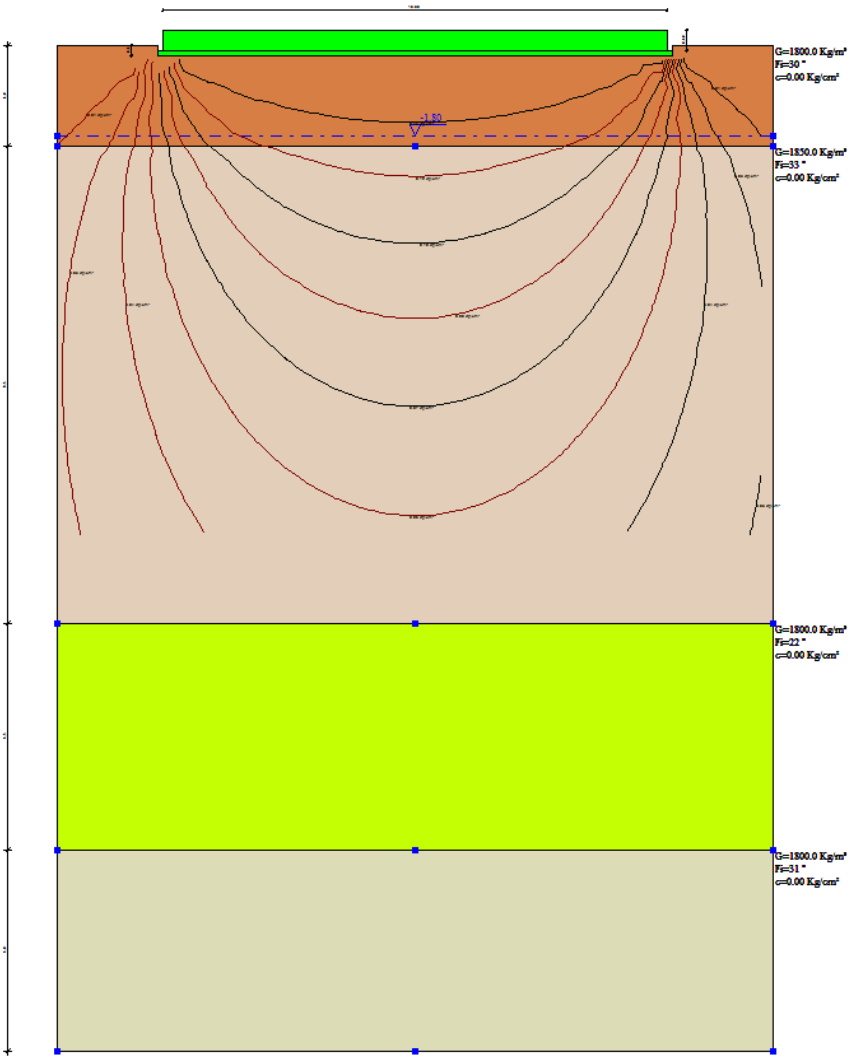


Figura 7-2 Rielaborazione grafica dei valori ottenuti a seguito dei calcoli eseguiti

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

8 MODELLO CONCETTUALE/CONCLUSIONI

In riferimento allo studio di impatto ambientale relativo alla "Messa in produzione del pozzo Agosta 1 dir", depositato da eni S.p.A. Distretto Centro Settentrionale il giorno 6/07/2015, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per le Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali (di seguito "MATTM"), a seguito dell'esame del progetto denominato "Messa in produzione del pozzo Agosta 1 dir", dei contenuti espressi dai soggetti partecipanti all'istruttoria e delle osservazioni pervenute, con lettera prot. DVA-0001682/CTVA del 06/05/2016, ha richiesto alla società proponente di predisporre una serie di integrazioni al progetto a suo tempo presentato.

In particolare al punto 28 delle osservazioni pervenute da parte del MATTM, con lettera prot. DVA-0001682/CTVA del 06/05/2016 si richiede:

"Venga integrato il progetto definitivo con l'approfondimento delle relazioni specialistiche tra cui la Relazione Geologica e geo idrologica, la Relazione Geotecnica e geomeccanica, la Relazione sismica (compresa quella sulle strutture)".

In risposta a tale punto si è provveduto a predisporre uno studio geologico, geomorfologico e idrogeologico, nonché l'analisi geotecnica e sismica in riferimento alle strutture previste in sito.

Di seguito sono riassunte le principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche sito specifiche:

- La morfologia dell'area di intervento risulta essere pianeggiante con una altezza media compresa tra -2,5 m e -3 m s.l.m. e caratterizzata da una serie di canali di origine antropica; le uniche forme morfologiche di origine naturale rilevate risultano essere antichi paleoalvei e cordoni dunali di natura sabbiosa.
- La stratigrafia superficiale, partendo dai depositi più superficiali, riscontrata nell'area di intervento risulta essere:
  - terreno vegetale di spessore compreso tra 0,10 e 0,50 m;
  - depositi argillosi scuri e torbosi, tipici di ambienti fluvio-lacustri, con abbondanti resti conchigliari, dello spessore indicativo di 1,6 m (dati tratti dalle prove CPT sito specifiche) e spessori massimi di 6 m verso il centro della valle di Mezzano;
  - depositi sabbiosi grigiastri con livelli torbosi e intercalazioni di materiale conchigliare, fino ad una profondità indicativa di 11,50 m da p.c.;
  - argilla limosa compatta compresa tra 11,50 e 16,0 m da p.c.;
  - depositi sabbioso limosi da 16,0 a 20,0 m da p.c.
- A livello idrografico l'area pozzo Agosta 1 dir, è ubicata tra il Canale Secondario Filo, ad occidente, ed il Canale Secondario Fosse, ad oriente, tributari diretti del Collettore Fosse, ad una distanza in linea d'aria di circa 450 m dalla sponda sinistra del Collettore Fosse e di circa 1400 m dall'impianto idrovoro Fosse Acque Basse.
- L'area di intervento è caratterizzata dalla presenza di una falda superficiale contenuta all'interno dei sedimenti grossolani principalmente sabbiosi. Lo spessore dell'acquifero superficiale nell'area investigata risulta di circa 14-20 m e tende ad approfondirsi verso mare. Tale acquifero presenta una permeabilità da medio-bassa, dove predominano le litofacies più fini, a medio-alta, dove predominano le litofacies sabbiose.
- I livelli piezometrici rilevati nella campagna di indagine di Luglio 2006, sono contenuti tra i 0,90 e 1,5 m al di sotto del piano campagna. Il livello piezometrico

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

è mantenuto artificialmente dagli impianti idrovori la cui attività è funzionale alla gestione della bonifica.

- I risultati ottenuti a seguito dell'esecuzione delle prove CPT1÷CPT3 hanno permesso di identificare quattro corpi sedimentari distinti, di seguito descritti:
  - Unità geotecnica A – Depositi di torba e argilla (da 0,00 a 1,60-2,0 m da p.c.);
  - Unità geotecnica B – Depositi fluviali sabbiosi (da 1,60-2,0 a 11,50 m da p.c.);
  - Unità geotecnica C – Depositi argillosi limosi (da 11,50 a 16,00 m da p.c.);
  - Unità geotecnica D – Depositi fluviali sabbiosi (da 16,00 a 20,00 m da p.c.).
- Il Comune di Comacchio, in base alla mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale (indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 1435 del 21.07.2003) rientra nella zona 3 (con valori di ag compresi fra 0,05 g e 0,15 g), definita come zona a sismicità bassa che può essere soggetta a scuotimenti modesti.
- Secondo la classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006 e la Carta dell'Amplificazione sismica e dei valori di Vs30, per l'area di intervento si ipotizzata una velocità Vs30 media equivalente delle onde di taglio S nei primi 30 m a partire dalla base delle fondazioni, pari a 207 m/sec. Tale valore corrisponde secondo la normativa D.M. 14/01/2008 ad un valore di categoria del sottosuolo (litotipo) pari a "C", che corrisponde a sua volta a valori di:
  - Amplificazione stratigrafica (Ss) compresi tra 1.00 ≤ 1.70 – 0.60
  - F0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) uguale a ag/g ≤ 1.50 (F0);
  - Coefficiente Funzione della Categoria (Cc) pari a 1.05(TC*)-0.33.
- L'analisi dell'indice del potenziale di liquefazione (Tavola dell'Indice del potenziale di liquefazione", Piano Strutturale Comunale, Comune di Comacchio) ha permesso di identificare un rischio di liquefazione basso; ciò esclude (o rende altamente improbabili) fenomeni di liquefazione del terreno ed i conseguenti danni alle strutture.

L'analisi geotecnica e simica, eseguita attraverso l'analisi di dati bibliografici e sito specifici, ha permesso di affermare che le attività previste sono compatibili con le caratteristiche geotecniche e geologiche dei terreni in sito.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

9 FONTI

Agende 21 Locali Emilia-Romagna, Rapporto sullo stato dell'ambiente dei comuni costieri della Provincia di Ferrara – Relazione tecnica, 2004.

Bondesan M. et alii, "Nuovi dati stratigrafici paleoambientali e di cronologia radiometrica sul ciclo trasgressivo-regressivo olocenico nell'area deltizia padana" Annali dell'Università di Ferrara, 1999.

Bondesan M., Lineamenti di geomorfologia del basso ferrarese, La civiltà pomposiana dalle origini preistoriche al tardo medioevo, Atti del Convegno (Comacchio, 1984), Bologna, 1986.

Bondesan M., L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici. In 'Il parco del Dlta del Po, studi e immagini'. Vol. 1 'L'ambiente come risorsa', Spazio Libri Editori, Ferrara, 1990.

Bondesan M., Le zone umide salmastre dell'Emilia Romagna: aspetti geografici e geomorfologici.' In 'Aspetti naturalistici delle zone umide salmastre dell'Emilia Romagna'. R.E.R., 1990.

Boccaletti M., Martelli L. (a cura di) 2004. Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000 e note illustrative. Selca, Firenze.

Centineo M.C., Calabrese L, Cibin U. Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 204 Portomaggiore, Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale ISPRA, 2009

Comune di Comacchio, Piano Strutturale Comunale – Documento Preliminare, Dicembre 2014.

Conservation of habitats and species in the Natura 2000 sites in the Po Delta, Redazione ed Approvazione del Piano di Gestione del SIC-ZPS IT4060002 Valli di Comacchio, 2015; LIFE09NATIT000110

Decreto Giunta Regionale. Emilia Romagna n. 1435 "Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del PCM n. 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

Decreto Ministeriale (infrastrutture) 14 gennaio 2008. Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008)

Lavagnoli M, Morandi F., Riguzzi S., Sampieri N. Piano dell'Arenile ai sensi dell'art.3 della L.R. 9/02– Relazione Geologica, Comune di Comacchio 2005.

Mantovani E., M. Viti, D. Babbucci, N. Cenni, C. Tamburelli, A. Vannucchi, F. Falciani, G. Fianchisti, M. Baglione, V. D'Intinosante, P. Fabbroni, L. Martelli, P. Baldi e M. Bacchetti (2013). Assetto tettonico e potenzialità sismo genetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana. Regione Emilia Romagna-SGSS, Regione Toscana, Università di Siena-DSFTA, http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/eventi/eventi-2013/verso-una-nuova-mappa-della-pericolosita-sismica

Parco delta del Po (2005). Redazione e approvazione del piano di gestione del SIC-ZPS IT4060002 valli di Comacchio.

Provincia di Ferrara, Il Parco del Delta del Po – studi ed immagini, L'ambiente come progetto, Spazio Libri Editori, 1990.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Provincia di Ferrara, Monitoraggio dei parametri idrogeologici e idrochimici della rete freatimetrica costiera della Provincia di Ferrara nel periodo 1989-1999, Ferrara, 2001.

Provincia di Ferrara, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, 1997.

Provincia di Ferrara, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale(PTCP) 2014 – Quadro Conoscitivo, Il sistema Naturale e Ambientale, 2014.

Regione Emilia Romagna, Carta dei suoli della pianura emiliano-romagnola, scala 1:250.000, 1999.

Regione Emilia-Romagna, Carta geologica di pianura, scala 1:250.000, 2000

Regione Emilia-Romagna, Servizio Cartografico - Ufficio Pedologico, I suoli dell'Emilia-Romagna, Note illustrative, 1994.

Regione Emilia Romagna, ENI-AGIP, Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna, G.

Quadro conoscitivo Piano Strutturale Comunale in Forma Associata Argenta-Migliarino-Ostellato-Portomaggiore-Voghera, Provincia di Ferrara, PSC L.R. 20/2000 – Capitolo B, B.2 "1° livello di microzonazione sismica".

Sacco F., L'origine della pianura Padana e le sue acque sotterranee, Atti del I congresso del Po, Piacenza, giugno 1927.

Sarti G., Centineo M.C., Calabrese L. Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 205 Comacchio, Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale ISPRA, 2009

Toscani, G.,p. Burrato, D. Di Bucci, S. Seno and G. Valensise, 2009. Plio-Quaternary tectonic evolution of the Northern Apennines thrust fronts (Bologna, Ferrara section, Italy): seismotectonic implications. Italian J. Geosci., 128, 605-613

Vannoli, P., P. Burrato, and G. Valensise 2015. The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain. Pure Appl. Geophys., 172, 1105-1142, 10.1007/s00024-014-0873-0.

Veronese T. La Modellazione geologica dei terreni su cui sorge Comacchio (FE) – articolo tratto da Il Geologo dell'Emilia Romagna.

9.1 SITI INTERNET CONSULTATI

www.arpae.itwww.comune.comacchio.fe.it

www.isprambiente.gov.it

www.provincia.fe.it

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Tavole.

This document is property of **eni** spa who will safeguard its rights according to the civil and penal provision of the law.

Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intevento
- Area Vasta

Limiti Amministrativi (ISTAT 2011)

- Confini Comunali

0 1.25 2.5 5 km

N

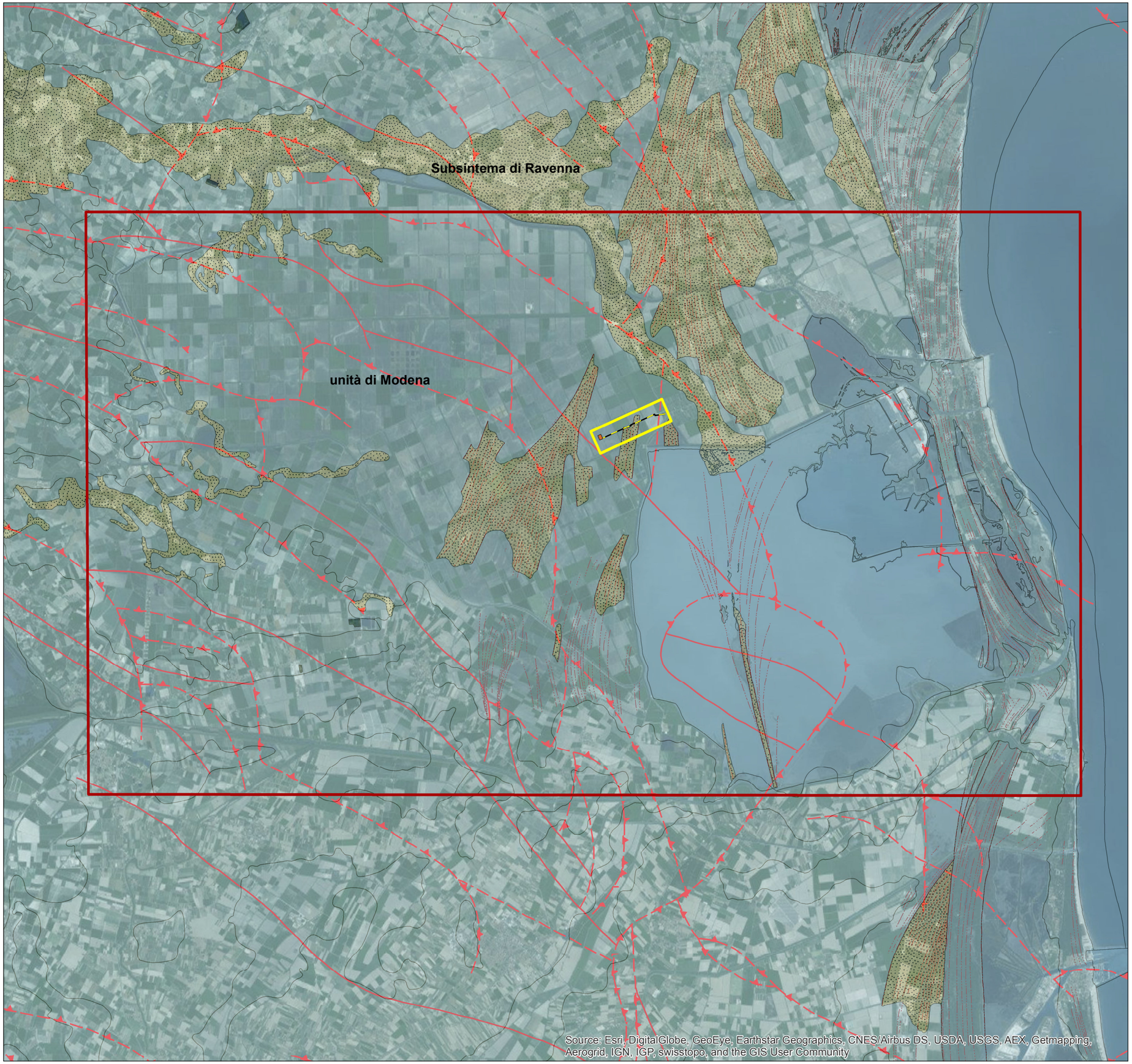
TAV 1	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:125,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	
			approvato	PPU	formato A3

committente
eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto
Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo
Inquadramento generale

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia



Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intevento
- Area Vasta

Carta geologica (Regione Emilia-Romagna)

Unità litostratigrafiche (scala 1:10.000)

- AES8 - Subsintema di Ravenna
- AES8a Unità di Modena (Subsintema di Ravenna)

Elementi morfologici strutturali

Tipologia

- Cordone litorale
- faglia profonda diretta
- faglia profonda indeterminata
- sovrascorrimento profondo post-tortoniano

0 1.25 2.5 5 km

N

TAV 2a	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:125,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	formato A3
			approvato	PPU	

committente
eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto
Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo
Carta Geologica Regione Emilia Romagna

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia

Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intevento

Carta geologica (Regione Emilia-Romagna)

Unità litostratigrafiche (scala 1:10.000)

- AES8 - Subsintema di Ravenna
- AES8a Unità di Modena (Subsintema di Ravenna)

Elementi morfologici strutturali

Tipologia

- Cordone litorale
- faglia profonda diretta
- faglia profonda indeterminata
- sovrascorrimento profondo post-tortoniano

0 125 250 500 m

N

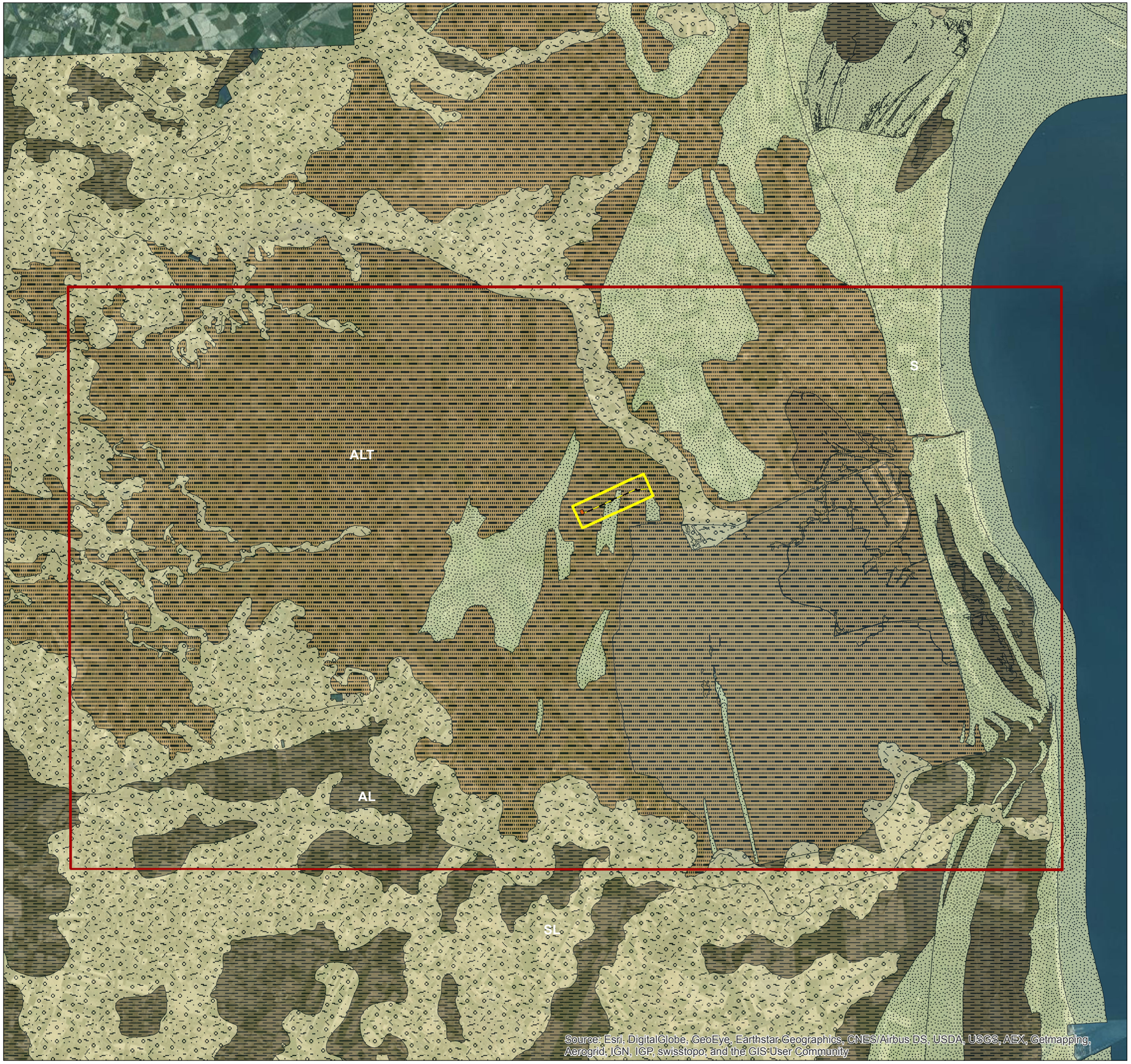
TAV 2b	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:15,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	formato A3
			approvato	PPU	

committente
eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto
Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo
Carta Geologica Regione Emilia Romagna
Area di Intervento

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia



Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intevento
- Area Vasta

Carta geologica (Regione Emilia-Romagna)

Depositi deltizi e litorali

- AL-Argille e limi con sostanza organica di retrocordone (laguna)
- ALT-Argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice
- S-Sabbie di cordone litorale
- SL-Sabbie e limi di canale distributore

0 1.25 2.5 5 km

N

TAV 3a	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:125,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	formato A3
			approvato	PPU	

committente
eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto
Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo
Carta Litologica Regione Emilia Romagna

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia

Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intevento

Carta geologica (Regione Emilia-Romagna)

Depositi deltizi e litorali

- ALT-Argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice
- S-Sabbie di cordone litorale
- SL-Sabbie e limi di canale distributore

0 125 250 500 m

N

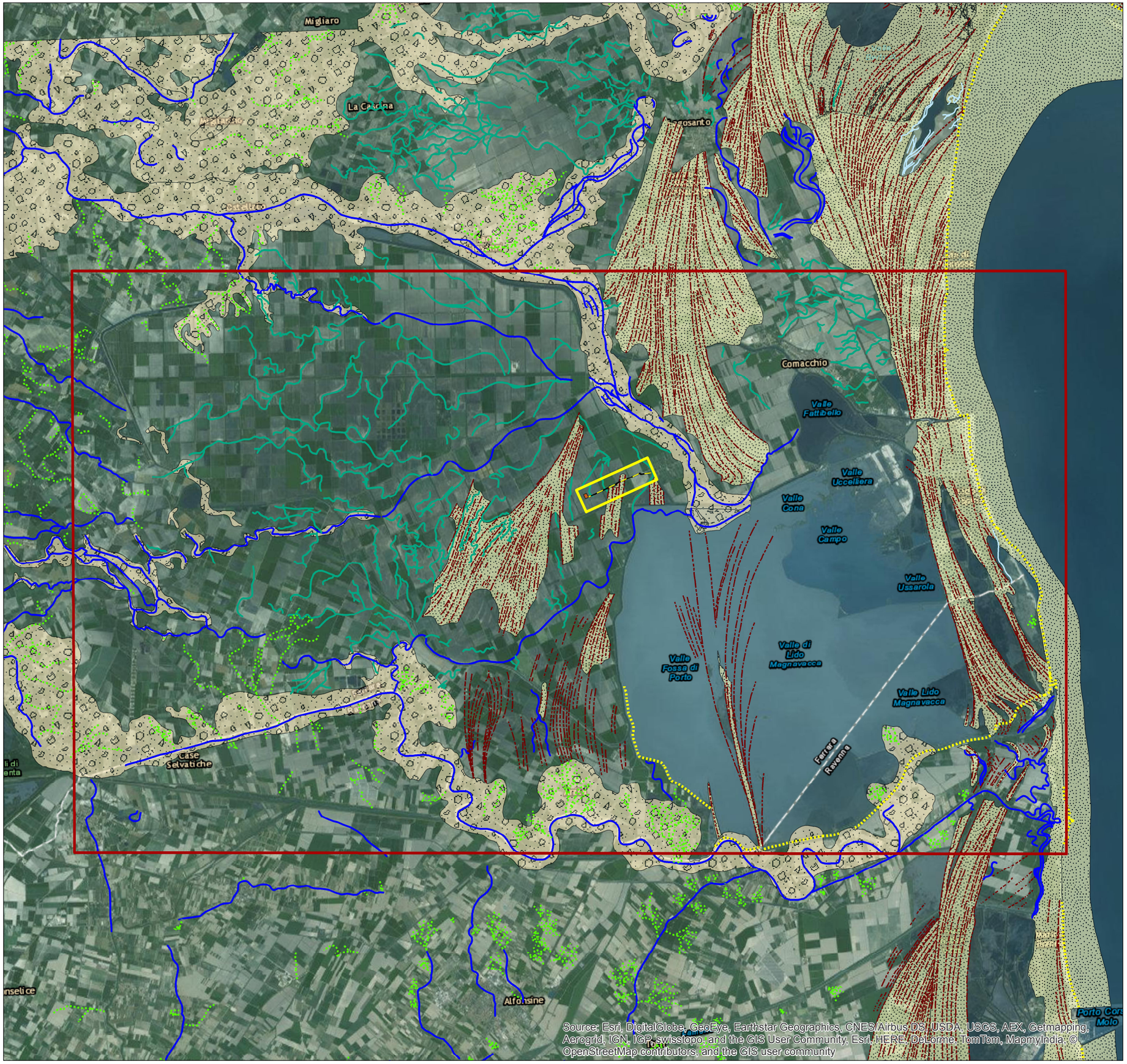
TAV 3b	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:15,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	
			approvato	PPU	formato A3

committente
eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto
Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo
Carta Litologica Regione Emilia Romagna
Area di intervento

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia



Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area di Intervento
- Area Pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area Vasta

Elementi geomorfologici - Regione Emilia-Romagna

Tipologia

- Linea di riva alla data del rilevamento
- Cordone litorale
- Traccia di canale lagunare
- Traccia di canale di area interdistributrice
- Traccia di alveo fluviale abbandonato
- Ventaglio di esondazione
- Deposito di canale distributore, argine e rotta
- Deposito di cordone litorale

0 0.5 1 2 3 4 5 km

N

TAV 4a	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:125,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	formato A3
			approvato	PPU	

committente

eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto

Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo

Carta Geomorfologica Regione Emilia Romagna

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia

Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area Pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intervento

Elementi geomorfologici - Regione Emilia-Romagna

Tipologia

- Cordone litorale
- Traccia di canale di area interdistributrice
- Traccia di alveo fluviale abbandonato
- Deposito di canale distributore, argine e rotta
- Deposito di cordone litorale

0 125 250 500 m

N

TAV 4b	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:15,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	
			approvato	PPU	formato A3

committente
eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto
Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo
Carta Geomorfologica Regione Emilia Romagna
Area di intervento

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community, Esri, HERE, DeLorme, MapmyIndia, © OpenStreetMap contributors, Esri, HERE, DeLorme, TomTom, MapmyIndia, © OpenStreetMap contributors, and the GIS user community

Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area Pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intervento

Uso del Suolo (Regione Emili Romagna)

- 1120 Ed Tessuto residenziale discontinuo
- 1226 Ri Reti per la distribuzione idrica
- 2121 Se Seminativi semplici irrigui
- 2122 Sv Vivai
- 4110 Ui Zone umide interne
- 4211 Up Zone umide salmastre
- 4212 Uv Valli salmastre
- 5114 Ac Canali e idrovie

0 125 250 500 m

N

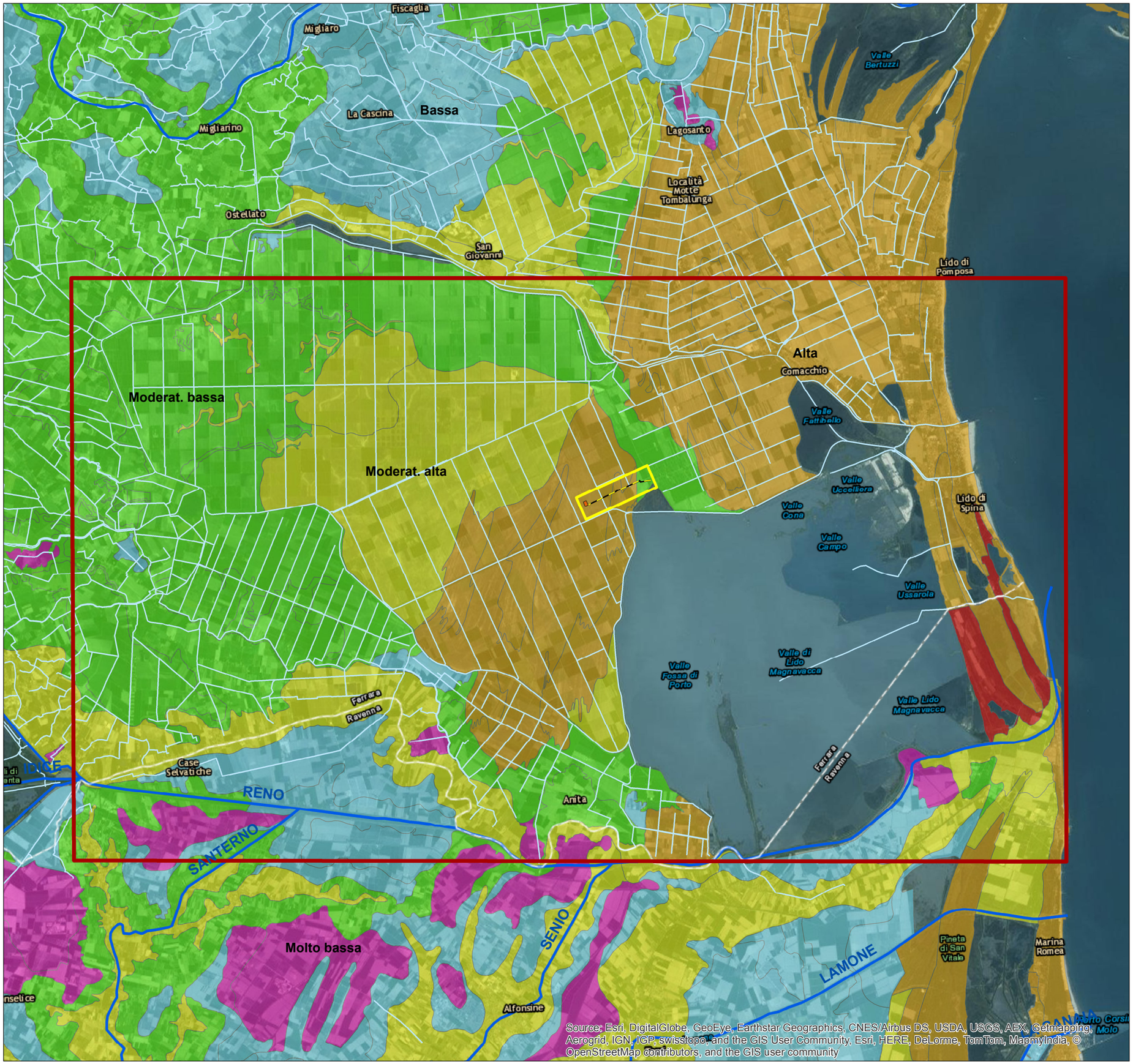
TAV 5	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:15,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	formato A3
			approvato	PPU	

committente
eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto
Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo
Uso del suolo - Regione Emilia Romagna
Area di intervento

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia



Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area Pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intevento
- Area Vasta

Reticolo Idrografico - ISPRA

- Corsi d'acqua principali

Rete Canali Artificiali - Regione Emilia-Romagna

- Canali artificiali

Conducibilità idraulica satura - Regione Emilia-Romagna

Classe (cm/h)

- Molto bassa (< 0.0036)
- Bassa (0.036 - 0.36)
- Moderat. bassa (0.0036 - 0.036)
- Moderat. alta (0.36 - 3.6)
- Alta (3.6 - 36)
- Molto alta (> 36)

0 1.25 2.5 5 km

N

TAV 6a	rev 00	data Luglio 2016	disegnato MBE	scala 1:125,000
progetto 58012002IT			controllato ACU	
			approvato PPU	formato A3

committente

eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto

Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo

Carta Idrogeologica Regione Emilia Romagna

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia

Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area Pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intevento
- Area Vasta

Rete Canali Artificiali - Regione Emilia-Romagna

- Canali Artificiali

Conducibilità idraulica satura - Regione Emilia-Romagna

Classe (cm/h)

- Molto bassa (< 0.0036)
- Bassa (0.036 - 0.36)
- Moderat. bassa (0.0036 - 0.036)
- Moderat. alta (0.36 - 3.6)
- Alta (3.6 - 36)
- Molto alta (> 36)

0 125 250 500 m

N

TAV 6b	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:15,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	
			approvato	PPU	formato A3

committente

eni spa
Distretto Centro Settentrionale

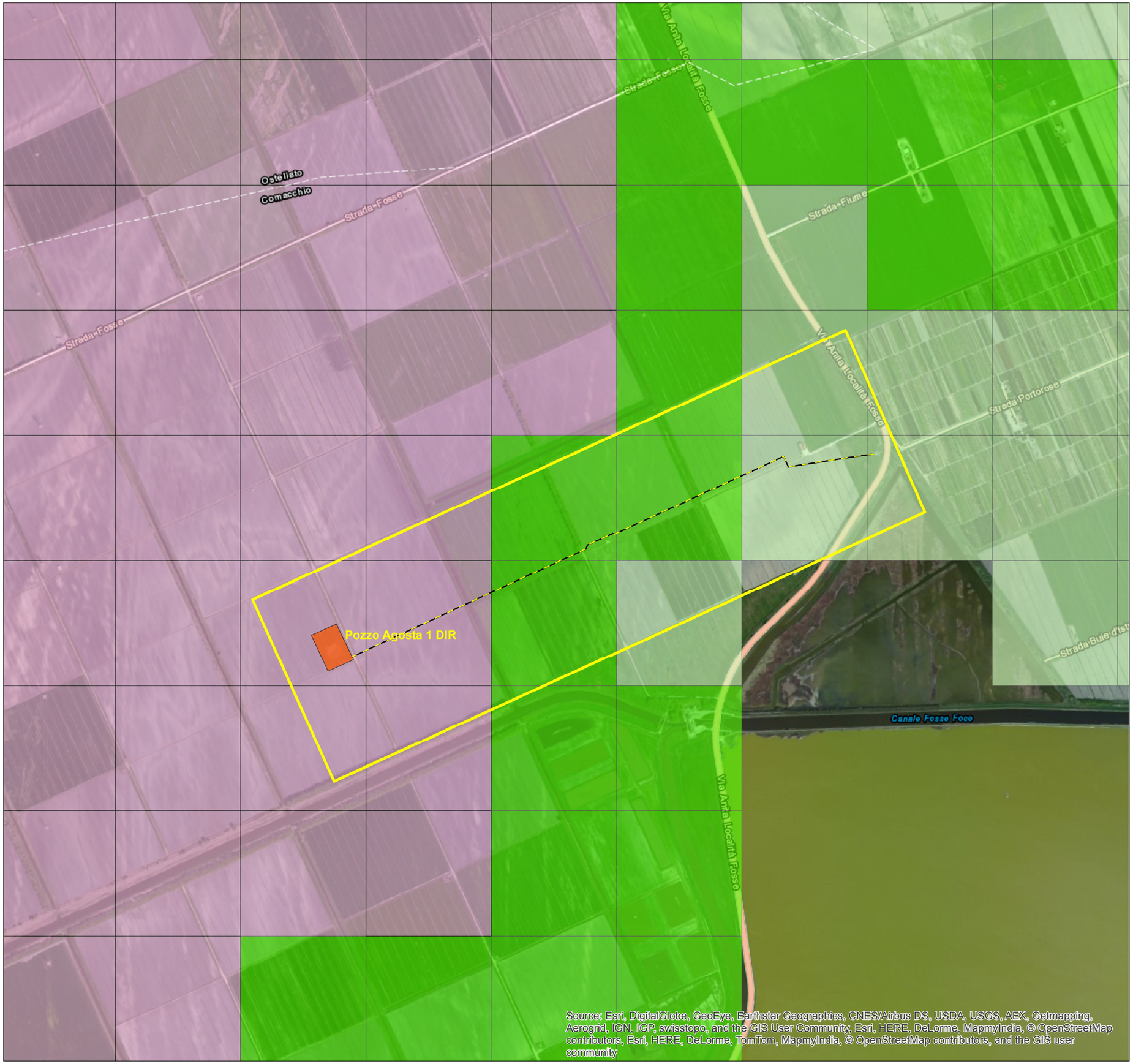
progetto

Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo

Carta Idrogeologica Regione Emilia Romagna
Area di intervento

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia



Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area Pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intevento

Salinità dei suoli, strato 0-50 cm - Regione Emilia-Romagna

Classe

- Fortemente salino - ECe > 16 dSm-1
- Moderatamente salino - ECe 8-16 dSm-1
- Debolmente salino - ECe 4-8 dSm-1
- Molto debolmente salino - 2-4 dSm-1
- Non salino - ECe<=2 dSm-1

0 125 250 500 m

N

TAV 7	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:15,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	
			approvato	PPU	formato A3

committente
eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto
Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo
Carta della Salinità dei Suoli Regione Emilia Romagna
Area di Intervento

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia

Legenda

Progetto Agosta 1 DIR

- Area Pozzo Agosta 1 DIR
- Condotta DN4" in progetto
- Area di Intevento
- Area Vasta

Classificazione sismica - Regione Emilia-Romagna

Zonizzazione Sismica 2003

- Classe 3

Microzonazione sismica - Regione Emilia-Romagna

Accelerazione ag

- 0.103
- 0.133

0 125 250 500 m

N

TAV 8	rev 00	data Luglio 2016	disegnato	MBE	scala 1:15,000
progetto 58012002IT			controllato	ACU	
			approvato	PPU	formato A3

committente

eni spa
Distretto Centro Settentrionale

progetto

Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale
Progetto messa in produzione del pozzo Agosta 1 DIR
Studio geologico - idrogeologico

titolo

Carta della microzonazione sismica, Provincia di Ferrara
Area di Intervento

Amec Foster Wheeler E & I GmbH
Via Sebastiano Caboto, 7
20094 Corsico (MI) Italia